



DIPARTIMENTO DI SCIENZE AGRARIE ALIMENTARI E AMBIENTALI

CORSO DI LAUREA IN: SCIENZE E TECNOLOGIE AGRARIE

IMPORTANZA DEL GENERE *OSMIA* SP.
(HYMENOPTERA: MEGACHILIDAE) PER
L'IMPOLLINAZIONE

TIPO TESI: compilativa

Studente:
LEONARDO CAVALIERE

Relatore:
PROF.SARA RUSCHIONI

Correlatore:

ANNO ACCADEMICO 2021-2022

Sommario

Elenco delle figure	3
Introduzione e Scopo della tesi	4
Capitolo 1	5
Impollinazione	5
Capitolo 2.....	6
Impollinatori e agricoltura	6
Capitolo 3.....	10
Declino degli impollinatori	10
3.1 Cambiamenti nell'uso del suolo	10
3.2 Uso dei fertilizzanti	10
3.3 Uso di insetticidi	10
3.4 Arature e gestione delle infestanti	11
3.5 Cambiamenti climatici	11
3.6 Possibili soluzioni	12
3.7 Rischi dell'uso commerciale delle api	13
3.8 Beewashing	14
3.9 Consigli sulla gestione	15
3.10 Valutazione del rischio di estinzione	15
3.11 Status delle api in Europa	16
3.12 Salvaguardia a livello europeo	18
Capitolo 4.....	18
Gli Apoidei.....	18
4.1 Organizzazione sociale	20
4.2 Il nido	21
4.3 Morfologia degli Apoidei	23
4.3.1 <i>Il capo</i>	23
4.3.2 <i>Il torace</i>	24
4.3.3 <i>Le ali</i>	25
4.3.4 <i>Le zampe</i>	26
4.3.5 <i>Metasoma</i>	27
4.3.6 <i>Apiformi come gruppo monofiletico</i>	29

4.3.7 <i>Short-tongued e Long-tongued</i>	30
4.4 Diffusione e abbondanza relativa	32
4.5 Relazione delle api con la flora	32
Capitolo 5.....	34
Api del genere <i>Osmia</i>	34
5.1 Famiglia Megachilidae	34
5.2 Sottofamiglia Megachilinae	34
5.3 Tribù Osminii	35
5.4 Genere <i>Osmia</i> Panzer	35
5.4.1 <i>Sottogenere “Allosmia” Tkalcu</i>	36
5.4.2 <i>Sottogenere “Erythrosmia” Schmiedeknecht</i>	38
5.4.3 <i>Sottogenere “Helicosmia” Thomson</i>	39
5.4.4 <i>Sottogenere “Osmia” Panzer</i>	40
Capitolo 6.....	42
Utilizzo di api come impollinatori	42
6.1 Popolazioni selvatiche	42
Capitolo 7.....	44
<i>Osmia</i> come impollinatore gestito dall’uomo	44
7.1 Perché usare <i>Osmia</i>?	44
7.2 Gestione delle api <i>Osmia</i>	45
7.2.1 <i>Gestione dei nidi</i>	46
7.2.1 <i>Scelta della posizione</i>	47
7.2.2 <i>Distribuzione dei rifugi</i>	47
7.2.3 <i>Spostare strutture già occupate</i>	47
7.2.4 <i>Metodi di rilascio</i>	48
7.2.5 <i>Densità ottimale</i>	48
7.2.6 <i>Protezione da antagonisti</i>	48
7.2.7 <i>Gestione delle fonti di cibo alternative</i>	49
7.2.8 <i>Ottimizzare la performance e il sincronismo tra l’emergenza e la fioritura</i>	49
7.3 Ciclo vitale <i>Osmia</i>	50
7.3.1 <i>Gestione del ciclo vitale</i>	51
Conclusioni	52
Bibliografia	53

Elenco delle figure

Figura 1 Riduzione della produzione.....	7
Figura 2 Api più rappresentate	9
Figura 3 Api più rappresentate	9
Figura 4 Categorie Red List IUCN	16
Figura 5 Status delle api in Europa.....	17
Figura 6 Trend delle popolazioni di api	17
Figura 7 Stadi del ciclo vitale di un'ape	19
Figura 8 Parti di tre nidi di <i>Heriades spiniscutis</i>	22
Figura 9 visione anteriore della testa di un'ape.....	23
Figura 10 visione posteriore della testa di un'ape	24
Figura 11 visione laterale del torace di un'ape	25
Figura 12 visione dorsale del torace di un'ape	25
Figura 13 visione frontale della zampa posteriore di un'ape	26
Figura 14 tibia e basitarso posteriori di un'operaia	27
Figura 15 Metasoma di un maschio di ape	28
Figura 16 Particolari del metasoma di un'ape maschio	28
Figura 17 Metasoma di un'ape femmina	29
Figura 18 Proboscide di un'ape long-tongued	31
Figura 19 Ape short-tongued	31
Figura 20 Capo di un maschio di <i>Chelostoma californicum</i>	34
Figura 21 Capo di un maschio di <i>Anthidium atripes</i>	35
Figura 22 Parapsidal line	36
Figura 23 <i>Osmia rufohirta</i>	37
Figura 24 Maschio di <i>Osmia rufohirta</i> in attesa davanti a un guscio di lumaca	37
Figura 25 Femmina di <i>Osmia andrenoides</i>	38
Figura 26 Femmina di <i>Osmia aurulenta</i>	39
Figura 27 <i>Osmia caerulea</i>	40
Figura 28 Femmina di <i>Osmia bicornis</i>	41
Figura 29 <i>Osmia cornuta</i>	41
Figura 30 Ciclo vitale <i>Osmia</i>	51

Introduzione e Scopo della tesi

“*Non solo il mio ma l'altrui ben procuro*”, il rosone della chiesa di Castiglione Alto (TO) riporta questo motto ad indicare come le api, anche se non volontariamente, ricoprono un ruolo fondamentale a favore della natura e a favore dell'uomo. Dire “ape” non significa solo parlare di *Apis mellifera* ma di un intero taxon di insetti diffusi in tutto il mondo. Con il seguente lavoro si vuole dare una panoramica su cosa è un'ape e su alcuni aspetti del suo rapporto con l'uomo, soffermandosi più in dettaglio sul genere *Osmia*.

Capitolo 1

Impollinazione

L'impollinazione è il trasferimento del polline tra parti maschili e femminili dei fiori. Il polline può provenire da un'antera dello stesso fiore, si tratta di auto-impollinazione, o da un'antera di un fiore di una diversa pianta della stessa specie, si tratta di impollinazione incrociata. Il polline può essere trasportato dal vento, dall'acqua o dagli animali, gran parte delle piante coltivate dipende almeno in parte dall'impollinazione animale. Dopo l'impollinazione i granuli pollinici germinano sullo stigma e il tubulo pollinico cresce attraverso i tessuti dello stigma fino all'ovario, dove avviene la fecondazione ossia l'unione dei gameti che permette la produzione di frutta e semi.

Gli impollinatori animali visitano i fiori per raccogliere polline e/o nettare. Esistono vari gruppi di animali che svolgono questa funzione, ma il più rappresentativi sono gli insetti, tra cui spiccano gli Apoidei con più di 20,000 specie (Neff e Simson, 1993), di cui 50 gestite dall'uomo per vari scopi e 12 specificatamente come impollinatori (Potts et al., 2016) e i ditteri sirfidi (Larson et al., 2001). Quest'ultime superano le api in diversità e abbondanza in regioni più fredde, come habitat ad elevata altitudine/ latitudine (Elberling and Olesen 1999). Oltre ad api e mosche, falene e farfalle sono presenti in tutto il mondo e con maggiore abbondanza e diversità nei tropici (Scoble 1995). In alcune regioni importanti impollinatori sono uccelli, pipistrelli, lucertole e piccoli mammiferi. La comunità degli impollinatori varia a seconda delle regioni.

La riproduzione sessuale delle piante e il mantenimento della biodiversità dipendono grandemente dall'impollinazione. L'attività più importante svolta dalle api (con il termine ape ci riferiamo agli insetti appartenenti alla superfamiglia Apoidea), che va anche a beneficio degli esseri umani, tralasciando per il momento il complesso rapporto con l'agricoltura, non consiste in quei prodotti quali miele e cera, tipici dell'ape domestica (*Apis mellifera*), bensì nel servizio di impollinazione della vegetazione naturale.

Gran parte delle specie di alberi della foresta tropicale sono legati all'impollinazione entomofila, il che come già detto vuol dire in genere impollinazione da parte delle api. Nelle regioni a clima temperato molti alberi delle foreste sono impollinati dal vento ma molti arbusti e specie erbacee sono legati alle api così come molte specie di piante nelle aree semi-desertiche, in cui svolgono anche un importante ruolo di prevenzione dell'erosione e forniscono cibo e riparo per la fauna selvatica.

Circa l'87.5% delle piante selvatiche che producono fiori dipende almeno in parte dall'impollinazione animale per la riproduzione sessuale e questo varia dal 94% in zone tropicali al 78% in zone temperate (Ollerton et al., 2011).

Molte piante richiedono l'impollinazione per produrre frutti o per incrementarne la produzione. Gli impollinatori giocano quindi un ruolo fondamentale nella stabilità e nel funzionamento di molte catene alimentari.

Capitolo 2

Impollinatori e agricoltura

L'impollinazione è fondamentale per la riproduzione sessuale delle piante e la produzione agricola. Per le colture che possono auto-impollinarsi si registra comunque un significativo aumento della resa e della qualità dei prodotti se vengono coinvolti gli impollinatori (Garibaldi et al., 2013). L'impollinazione è uno dei più importanti fattori che contribuisce ai raccolti nel mondo contribuendo ben al di là di qualunque altra pratica agricola.

Al momento le api da miele sono colpite da molte malattie e le specie di api selvatiche stanno diminuendo in molte regioni (Kluser and Peduzzi, 2007), sollevando preoccupazioni su una "potenziale crisi dell'impollinazione" che minaccia il nostro approvvigionamento alimentare. Mentre le api da miele sono minacciate principalmente da parassiti e malattie e da quella che si chiama sindrome dello spopolamento degli alveari (Colony Collapse Disorder), sembra che il declino delle api selvatiche sia dovuto specialmente dai cambiamenti di uso del suolo e dall'intensificazione dell'agricoltura (Hallmann et al., 2017; Meeus and Steffan-Dewenter 2018).

L'agricoltura globale è dipendente dagli impollinatori. Quando un'area manca di diversità in termini di specie di impollinatori si osserva un declino nella resa, nella costanza produttiva o nella qualità del raccolto.

La produzione agricola mondiale è aumentata del 140% nel periodo 1961-2006, nei paesi in via di sviluppo la produzione nel 2006 era 2.2 volte maggiore di quella dei paesi sviluppati.

Le aree coltivate sono aumentate del 25% dal 1961 al 2006, nel 1961 l'area coltivata nei paesi in via di sviluppo era il 38% maggiore rispetto ai paesi sviluppati, nel 2006 la differenza era del 130%.

C'è un aumento della dipendenza dell'agricoltura dagli impollinatori, la superficie destinata a colture dipendenti nei paesi sviluppati è aumentata dal 18.2% al 34.9% nel periodo 1961-2006, nei paesi in via di sviluppo dal 23.4% al 32.8% (Aizen et al., 2008). Questo incremento è dovuto all'aumento della richiesta di cibo da parte di nazioni popolate e con crescita rapida come Cina e India (Winters and Yusuf, 2007) e alla richiesta da parte del mercato globale, particolarmente del mondo industrializzato, di una maggiore diversità di prodotti, molti dei quali tropicali (Pelto and Pelto, 1983).

Se consideriamo le principali colture, più del 90% viene visitato dalle api.

In termini di volume di produzione globale possiamo dire che il 60% proviene da colture che non dipendono dall'impollinazione animale (ad esempio i cereali), il 35% da colture che dipendono almeno in parte e il restante 5% non è stato ancora valutato (IPBES 2016).

Il 70% delle principali colture che produce circa il 35% del volume agricolo mondiale dipende in varie misure sugli impollinatori per una quantità e qualità della produzione (Klein et al 2007). La totale perdita degli impollinatori ridurrebbe la resa di più del 90% nel 12% delle principali colture globali, non avrebbe effetti sul 7%, effetti sconosciuti sull'8%, una perdita tra il 40% e il 90% nel 28% delle colture e una perdita tra l'1% e il 40% nel restante 45% (Klein et al., 2007) (Fig. 1).

Considerando le 87 colture più importanti più della metà dipendono almeno in parte dall'impollinazione ma se guardiamo solamente ai volumi di produzione allora solo 2 delle 10 colture più produttive dipendono in un certo grado dall'impollinazione mentre ben 8 delle 10 meno produttive sono dipendenti da essa.

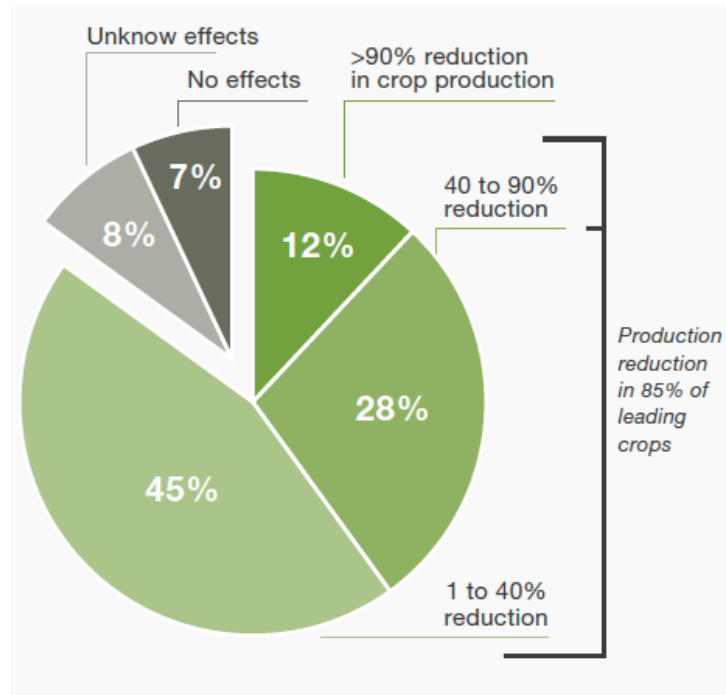


Figura 1 Riduzione della produzione

Fig. 1 Riduzione della produzione delle più importanti colture dipendenti dall'impollinazione animale in sua mancanza (Klein et al., 2007)

La dipendenza dell'agricoltura dagli impollinatori può essere stimata sia in termini del valore delle perdite causate dalla carenza dell'impollinazione o al costo per mitigarle (es. aumento superficie agricola, impollinazione manuale etc.) (Aizen et al., 2009). Molte colture dipendono solo in parte dall'impollinazione animale perciò bisogna tenere in considerazione anche il grado di dipendenza per evitare di sopravvalutare l'importanza agricola degli impollinatori (Ghazoul 2005).

L'impollinazione animale è direttamente responsabile del 5-8% del volume della corrente produzione agricola globale (ossia produzione che andrebbe totalmente persa). "Il valore annuale di mercato di questo 5-8% di produzione direttamente collegata agli impollinatori si stima tra i 235 e i 577 miliardi di dollari americani" (Lautenbach et al. 2012).

Se scomparissero gli impollinatori ne risentirebbero le colture dipendenti dall'impollinazione che sono in proporzione maggiori nei paesi in via di sviluppo (Aizen et al 2008). Il deficit di produzione in assenza di impollinatori sarebbe il 3-5% nei paesi sviluppati e l'8% in quelli in via di sviluppo. Se consideriamo solo le colture che dipendono totalmente dagli impollinatori si scende al 2% di perdita di produzione globale. Potrebbe sembrare una cifra irrisoria ma in un discorso ragionato non si può parlare solo di quantità, bisogna considerare anche altri punti di vista.

Le colture hanno valori nutrizionali e valori economici diversi, che non possono essere rappresentati solo dal quantitativo prodotto. Il valore nutritivo di molte colture ad impollinazione animale è di gran lunga più importante per la dieta umana rispetto a quanto si potrebbe pensare considerandone solo la quantità prodotta (Steffan-Dewenter et al., 2005). Nell'ottica di combattere la fame e la malnutrizione bisogna ricordarsi che non si devono

considerare solo le calorie, ma anche il valore nutrizionale degli alimenti, tra cui i più ricchi dipendono dagli impollinatori.

Nonostante la previsione di una diminuzione solo dell'8% della produzione globale, assumendo che la diminuzione della resa di una specifica coltura possa essere compensata anche in assenza di impollinazione da un aumento della superficie ad essa dedicata, sarebbe necessario un forte incremento della superficie coltivata per compensare le perdite. Questa ipotesi è ben verificata dal fatto che le colture con la minore crescita della produttività negli ultimi 50 anni hanno registrato il maggiore incremento di superficie coltivata. Colture come avocado, ciliegia, mirtillo, molto dipendenti dall'impollinazione e che già mostrano nessuna o addirittura negativa crescita nella resa per unità di superficie. Per questo gli effetti di una crescente carenza di impollinazione potrebbero manifestarsi in un aumento sproporzionato della richiesta di superficie coltivata, che sarebbe sicuramente favorita dalla maggiore remuneratività di tali colture. Sebbene questo effetto sia meno pesante rispetto al collasso della produzione implicito nel paradigma della "crisi della impollinazione" un tale aumento di pressione nel fornire nuove superfici agricole potrebbe contribuire significativamente ai cambiamenti climatici.

Se consideriamo il periodo 1961-2006, nei paesi sviluppati sarebbe stato necessario un aumento della superficie coltivata del 15% per compensare la perdita di produzione in assenza di impollinatori, nei paesi in via di sviluppo invece l'incremento di superficie sarebbe stato del 28% nel 1961 e del 42% nel 2006.

I Paesi in via di sviluppo rappresentano più dei due terzi della produzione agricola mondiale e della superficie coltivata e si basano su un'agricoltura che in termini di produzione è del 50% più dipendente dagli impollinatori rispetto al mondo industrializzato.

Aizen et al. (2009) prevede che la superficie coltivata necessaria per compensare il collasso degli impollinatori sarebbe 6 volte maggiore nel mondo in via di sviluppo rispetto al mondo sviluppato. Sebbene le api da miele gestite dall'uomo stiano diminuendo drasticamente in Nord America e in parti d'Europa (Watanabe 1994), sembra che gli impollinatori selvatici indigeni vengano persi ancor più rapidamente nel panorama agricolo dei tropici rispetto alle regioni temperate (Ricketts et al 2008). Questo comporta una maggiore vulnerabilità dell'agricoltura nel mondo in via di sviluppo, che necessiterebbe di superfici maggiori per compensare le perdite con la conseguenza di intensificare la pressione sui restanti ecosistemi e far aumentare i conflitti per lo sfruttamento del suolo.

Sebbene una diminuzione dell'impollinazione causata dall'impatto antropico sembri avere effetti diretti non catastrofici sulla produzione del cibo, le azioni intraprese per compensare potrebbero avere effetti sorprendentemente grandi. Anche quella limitata perdita di produzione prevista dalla crescente carenza di impollinatori può comportare un aumento sproporzionato delle superfici coltivate per soddisfare le richieste del mercato mondiale, accelerando così la distruzione degli habitat e un'ulteriore perdita di impollinatori.

Risulta difficile poter stimare con certezza se siano più importanti le api gestite o le specie selvatiche ai fini dell'impollinazione. Sicuramente api selvatiche e gestite svolgono un'azione complementare nei campi coltivati occupando diverse nicchie. Per poter definire quali siano le api gestite o selvatiche più rilevanti per l'agricoltura Klein et al. (2018) compie una meta-analisi considerando le 15 colture più impollinate dalle api individuando le 10 api più rappresentate. Le 15 colture (classificate in due categorie 95% e 65% di dipendenza dagli impollinatori per la produzione) sono: mandarlo, melo, albicocco, avocado, anacardo, cetriolo, kiwi, mango, melone, pesco, pero, susino, zucca, cocomero e vaniglia (anche se la vaniglia è impollinata solo da api Euglossine che non sono diffuse globalmente e perciò si ricorre in genere all'impollinazione manuale). Le 10 api più rappresentate sono: 4 specie di ape da miele

(*Apis mellifera*, *A. cerana*, *A. dorsata*, *A. florea*), 2 di bombo (*Bombus impatiens*, *B. terrestris*), 2 specie di *Osmia*, volgarmente chiamate api muraiole (*Osmia lignaria*, *O. cornuta*) e infine 2 della famiglia *Apidae* (*Peponapis pruinosa*, *Melissodes bimaculata*)(Fig.2-3)

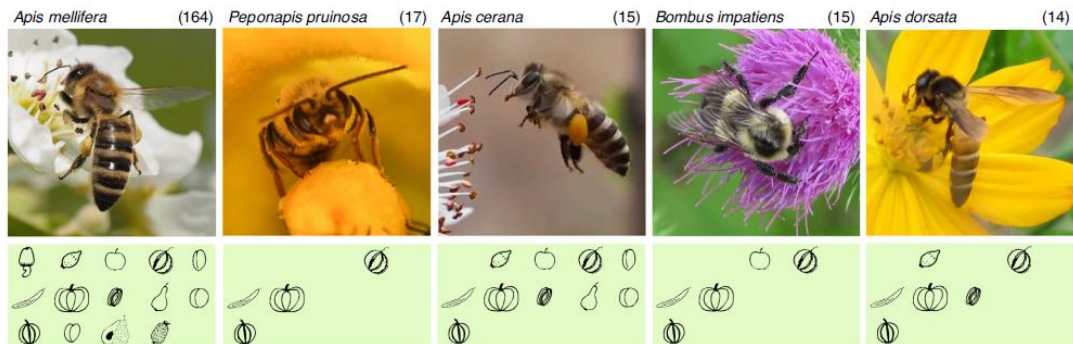
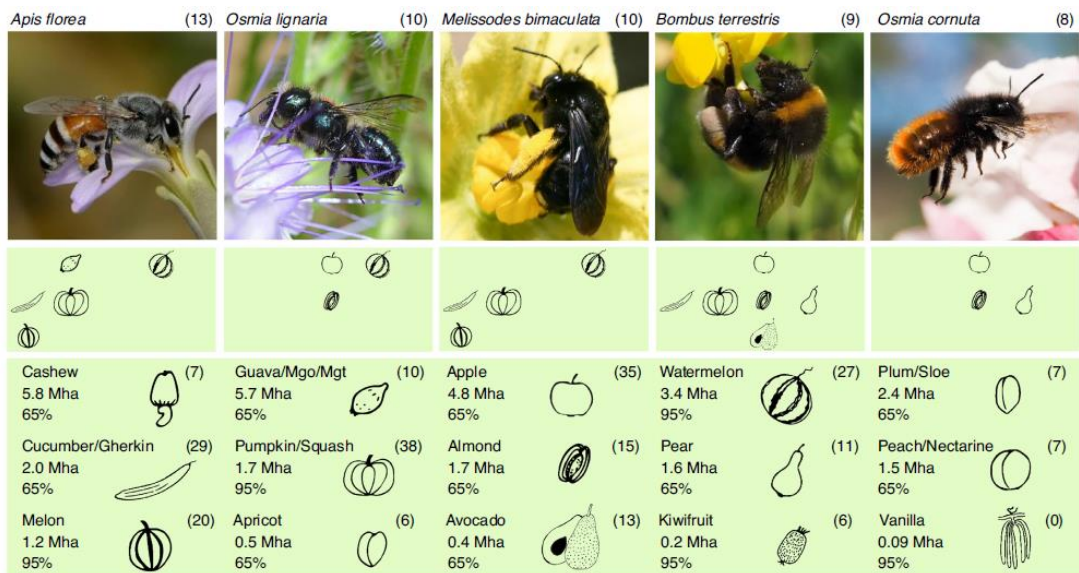


Figura 2 Api più rappresentate



Current Opinion in Insect Science

Figura 3 Api più rappresentate

Fig. 2-3 Api più rappresentate con le colture di cui sono impollinatori, in percentuale la dipendenza dall'impollinazione e in Mha i milioni di ettari dedicati a tali colture (FAO 2004-2014). Photo credits: *Osmia lignaria* (Kathy Keatley Garvey), *Melissodes bimaculata* (Rachael Winfree), *Peponapis pruinosa* (Alexandra-Maria Klein), *Bombus impatiens*, *Apis dorsata* (Jochen Frund), *Apis mellifera*, *Apis cerana*, *Bombus terrestris*, *Osmia cornuta* (Felix Fornoff). (Klein et al., 2008)

Capitolo 3

Declino degli impollinatori

Le preoccupazioni riguardo il declino degli impollinatori sono abbastanza recenti, iniziate con gli studi del ben documentato declino dell'ape domestica in Nord America ed Europa (Colony collapse disorder – CCD), con una crescente percezione che almeno alcune specie siano in declino. Sulla condizione di molte specie di impollinatori non si hanno valutazioni a livello globale, le popolazioni fluttuano in modo naturale e diviene difficile stabilire quale sia la situazione reale, nonostante ciò ci sono prove che alcune popolazioni di impollinatori stanno cambiando in modo anormale rispetto al passato (Cameron et al 2011).

Le possibili cause di questo declino possono essere: cambiamenti nell'uso del suolo, uso dei fertilizzanti, uso di insetticidi, arature e gestione delle infestanti, cambiamenti climatici.

3.1 Cambiamenti nell'uso del suolo

I cambiamenti nell'uso del suolo causati da agricoltura e urbanizzazione, cambiando fortemente il tipo di copertura presente, portano alla distruzione degli habitat, con perdita di molte specie, o quantomeno a una degradazione di essi (Fischer and Lindenmayer, 2007). Inoltre portano alla frammentazione di habitat che prima erano continui, creando problemi di connettività. Il sempre maggiore distanziamento di queste zone isola le popolazioni e fa diminuire la variabilità genetica. In questi scenari, sebbene gli habitat siano ancora disponibili agli impollinatori, il fatto che la loro relativa configurazione spaziale cambi, può portare a una riduzione della fitness (ossia il successo riproduttivo) degli impollinatori e delle popolazioni e, quindi, incrementa le probabilità di estinzione (Battin 2004). La pericolosità di questi cambiamenti è che la perdita, la degradazione e la frammentazione di un habitat può causare un effetto valanga di estinzione di specie differito di decenni (Krauss et al., 2010).

3.2 Uso dei fertilizzanti

Globalmente si usano sempre di più i fertilizzanti inorganici al posto di quelli organici. Un uso intensivo dei fertilizzanti inorganici può portare a una diminuzione delle specie floreali selvatiche meno competitive (Kleijn et al., 2009), quindi a minori risorse per gli impollinatori. Il livello di azoto può influenzare la fisiologia delle piante con effetti sugli impollinatori. Un esempio è uno studio su un campo di zucche in cui le api si sono viste bottinare più frequentemente su piante cresciute in condizioni di elevato azoto e si è notata una significativa riduzione nella longevità delle operaie (Hoover et al., 2012). Fertilizzazioni eseguite senza cognizione di causa possono influenzare le piante sia direttamente che indirettamente attraverso effetti sui loro impollinatori (Burkle e Irwin 2010).

3.3 Uso di insetticidi

L'uso degli insetticidi è un argomento di grande importanza per via della loro intrinseca tossicità e dei potenziali effetti sugli insetti impollinatori che non sono il vero target del prodotto (UNEP 2010). L'esposizione agli insetticidi può avvenire tramite l'ingestione di cibo contaminato, o tramite il contatto con il prodotto stesso durante la sua applicazione o con i suoi residui. Le api solitarie possono infatti venire in contatto con il prodotto anche attraverso i residui nel suolo o nel materiale vegetale usato per i nidi (EFSA 2012). Oltre all'immediato danno alla comunità degli impollinatori dato dalla morte dell'ape in seguito all'esposizione a una dose letale c'è un pericolo meno evidente, ma altrettanto serio, gli effetti dell'esposizione

a dosi sub-letali, ossia gli effetti sugli individui sopravvissuti all'esposizione (Desneux et al., 2007). Molti studi hanno mostrato come alcune classi di nuovi insetticidi come i neonicotinoidi (Henry et al., 2012) e piretroidi (Vandame et al., 1995) causano alterazioni nella capacità di orientamento delle api per trovare fonti di cibo o per tornare al nido, provocandone la scomparsa; bisogna segnalare che la maggior parte di questi studi riguardano le api domestiche, molto pochi invece altri tipi di api.

3.4 Arature e gestione delle infestanti

Circa il 70 % delle api nidificano nel terreno (Michener, 2000), il disturbo del suolo causato dalle arature può avere effetti distruttivi su queste specie (Williams et al 2010).

Il controllo delle erbe infestanti attraverso l'uso di erbicidi o frequenti falciature, soprattutto nelle monoculture, riduce la quantità di specie vegetali che possono essere visitate dalle api e dopo la fioritura di queste poche specie, che generalmente dura poco tempo, gli impollinatori si trovano in condizioni di grave mancanza di fonti di cibo.

3.5 Cambiamenti climatici

Il cambiamento climatico è un cambiamento nello stato del clima che può essere identificato da cambiamenti nella media o nella variabilità delle sue caratteristiche e che persiste per un periodo di tempo esteso, tipicamente decenni o più (IPCC 2013). Le specie rispondono al cambiamento climatico adattandosi, spostandosi in zone climatiche più favorevoli oppure estinguendosi prima localmente e poi globalmente (Dawson et al 2011).

L'aumento della temperatura dovuto ai cambiamenti climatici può alterare i rapporti tra piante e impollinatori, desincronizzando i loro cicli vitali, soprattutto nell'emisfero settentrionale si è registrata una generale anticipazione della primavera (Settele et al., 2014). Inoltre, temperature più elevate e l'aumento dei periodi siccitosi possono alterare i segnali chimici emessi dalle piante per attrarre gli impollinatori (Farre-Armengol et al., 2013). Si è riscontrata nella fenologia di 10 specie di api poliletiche, ovvero api che hanno un range di foraggiamento elevato, nord americane un'anticipazione di 10 giorni negli ultimi 130 anni, con la maggior parte di questa anticipazione a partire dal 1970 (Bartomeus et al., 2011). Questa anticipazione corrisponde a quella avvenuta per le piante visitate dalle api. Questo fenomeno suggerisce che le api poliletiche hanno più possibilità di sopravvivenza poiché riescono ad adattarsi meglio ai cambiamenti delle fioriture. I dati di questi studi, però, sono confutati da Wolkovich et al (2012) che li definisce grossolanamente sottovalutati poiché le conseguenze di queste variazioni nel tempo non sono ancora ben chiare.

Negli ambienti artici, alpini o di climi temperati in cui la copertura nevosa ricopre un'importante posizione, la situazione è differente. Lo scioglimento anticipato della neve a causa dei cambiamenti climatici è stato collegato ad una diminuzione delle risorse floreali e ciò influenza la sopravvivenza degli insetti (Boggs and Inouye 2012). L'interazione tra precipitazioni e temperatura influisce sullo scioglimento della copertura nevosa, comporta fioriture anticipate delle piante alpine (Lambert et al., 2010) e un incremento dei danni da gelo nei fiori selvatici montani (Inouye 2008). In questo caso i dati sono meno controversi poiché in questi ambienti la copertura nevosa è più importante della temperatura in sé ed alcuni degli esempi più chiari degli effetti dei cambiamenti climatici sulle popolazioni provengono da ecosistemi ad elevata latitudine dove i fattori non legati al clima sono di minore rilevanza.

Un altro aspetto del cambiamento climatico è l'aumento del volume e della frequenza delle precipitazioni che per esempio in Indonesia ha portato a una diminuzione delle risorse floreali registrata come diminuzione della produzione del miele (Kahono 2011).

In risposta al riscaldamento globale l'areale di molte specie di animali e piante si è spostato a maggiore altitudine o latitudine mentre le specie che non sono in grado di migrare si sono viste diminuire il loro spazio ottimale, altre invece sono in grado di spostarsi ma non abbastanza per far fronte ai cambiamenti. Questo spostamento, creando comunità che non hanno avuto tempo per co-evolvere (Tylianakis et al., 2008) o disaccoppiando gli areali delle specie, può alterare gli equilibri degli ecosistemi e causare un danno maggiore di quanto previsto sulla biodiversità (Memmott et al., 2007).

Il contrasto al cambiamento climatico ridurrebbe le distanze che le specie dovrebbero percorrere per rimanere in zone climatiche favorevoli (Thuiller et al., 2005).

Il danno causato agli impollinatori, soprattutto dal cambiamento climatico, può non essersi ancora manifestato nella sua interezza, con effetti che si mostreranno nei prossimi decenni. L'Intergovernmental Panel on Climate Change ipotizza che bisogna aspettarsi un cambiamento nella composizione delle popolazioni di impollinatori e soprattutto un cambiamento nelle tempistiche delle attività stagionali, con una desincronizzazione dei cicli vitali e delle interazioni fra le specie. Per alcune colture come il melo, le proiezioni future mostrano che i cambiamenti climatici possono scombinare il processo di impollinazione poiché il periodo con le condizioni migliori per le piante e il ciclo degli impollinatori potrebbero non coincidere più.

3.6 Possibili soluzioni

Per far fronte a queste problematiche si può ricorrere a diverse strategie:

- *Gestione agricola*. Migliorare la gestione agricola per minimizzare i danni ambientali, passando per esempio a regimi di agricoltura biologica. L'agricoltura convenzionale, infatti, fornisce rese più alte, ma col passare del tempo si registra una diminuzione della produzione dovuta alla degradazione dell'ecosistema che spesso viene compensata mettendo a coltura nuove aree, come avviene frequentemente nei paesi in via di sviluppo (Masuda e Goldsmith 2009), richiamando all'attenzione anche la questione del suolo quale risorsa non rinnovabile.

- *Diversificazione delle colture*. Si possono diversificare le colture poiché in generale le policolture richiedono un minore uso di fertilizzanti e pesticidi rispetto alle monoculture (Shackelford et al., 2013). Pratiche agricole meno impattanti sull'ambiente, un habitat eterogeneo, riduzione dei pesticidi e la conservazione della vegetazione naturale, incrementano l'attività delle api selvatiche e la resa delle colture rispetto alle monoculture (Kremen et al 2002). Infatti, più un sistema è eterogeneo, più è probabile che ci sia una maggiore diversità di impollinatori e una maggiore resa delle colture dipendenti dagli impollinatori (Tschardt et al 2012a). Una importante meta-analisi ha mostrato che sistemi agricoli diversificati comportano un 70% in più di api e un 50% in più di specie selvatiche rispetto alle monoculture convenzionali (Kennedy et al., 2013).

Un esempio è la consociazione mista, o coltura promiscua, che implica l'allevamento di specie erbacee ed arboree nella stessa unità colturale (Bonciarelli 1981) che oggi prende il nome di agroforestry e fa parte delle pratiche che favoriscono la presenza stabile degli impollinatori in alcune aree da cui potranno propagarsi più facilmente la stagione successiva. Anche la

semplice aggiunta di bordure fiorite può avere effetti positivi, contrastando il vuoto di pascolo causato dalle monoculture.

- *Infrastrutture ecologiche.* Migliorare le infrastrutture ecologiche, ossia incrementare gli appezzamenti di habitat semi-naturali all'interno del panorama agricolo e, soprattutto, migliorarne la connettività aiuta a conservare le popolazioni di impollinatori su scala regionale. Questo però, non aiuta in modo diretto l'impollinazione delle colture distanti più di qualche kilometro. Per questo motivo, è necessario mantenere appezzamenti anche di dimensioni ridotte a distanze proporzionali al raggio di volo degli impollinatori e collegarli per evitare l'isolamento delle popolazioni (anche con semplici corridoi ai bordi delle strade). L'agroforestry provvede a migliorare la connettività tra queste aree naturali o semi-naturali (Perfecto and Vandermeer, 2008).

- *Indipendenza alimentare.* Ci si aspetta che l'espansione dell'agricoltura industrializzata, soprattutto nei paesi in via di sviluppo, impatterà sulle popolazioni di impollinatori. E' stato dimostrato che molta parte delle foreste tropicali sono disboscate per rispondere alle richieste del mercato dell'esportazione (Persson et al., 2014), la sovranità alimentare potrebbe essere una via alternativa in risposta a questi intensi scambi intercontinentali e a ridurre l'impatto sugli ecosistemi (Moon, 2011).

- *Igiene e controllo delle api gestite.* Bisogna porre grande attenzione all'igiene e al controllo di parassiti e malattie delle api gestite dall'uomo, che va a beneficio non solo delle nostre api ma dell'intera comunità degli impollinatori selvatici.

3.7 Rischi dell'uso commerciale delle api

Da annoverare tra le possibili cause del declino degli impollinatori abbiamo le conseguenze della commercializzazione delle api.

Le malattie delle api per definizione hanno un impatto negativo e sono una delle cause del declino degli impollinatori, soprattutto quando sono in combinazione con esposizione a pesticidi e scarsa nutrizione.

La gestione delle api da parte dell'uomo, l'allevamento in massa, il commercio e il trasporto degli impollinatori al di fuori dei loro areali d'origine ha facilitato la diffusione di differenti specie di api laddove prima non erano presenti. Se da un lato questo è un vantaggio ai fini della produzione del miele, dall'altro ha impatti negativi poiché ha causato invasioni, trasmissione di organismi patogeni e parassiti, l'estinzione di specie native e il rimpiazzamento degli impollinatori locali (Goulson, 2003).

La maggioranza degli studi su api gestite dall'uomo riguardano le api da miele e i bombi, pochi invece le api solitarie. Tra le più importanti api solitarie gestite dall'uomo troviamo quelle appartenenti alla famiglia Megachilidae come *Megachile rotundata*, *Osmia bicornis*, *Osmia lignaria*. Tra le principali avversità delle api troviamo:

-*Virus.* Alcuni virus a RNA hanno mostrato di poter essere ospitati da numerose specie di Imenotteri dimostrando che ne è possibile una libera circolazione tra diversi impollinatori (Singh et al., 2010) con importanti implicazioni sull'import/export di api anche solitarie.

- *Batteri*. Riguardo i batteri, *Paenibacillus larvae* e *Spiroplasma melliferum* sono stati ritrovati nei nidi di *Osmia* spp, anche se la loro patogenicità è solo ipotetica e *Osmia* può anche solo servire come intermediario o vettore per questi batteri virulenti nei confronti delle api da miele” (ossia le api del genere *Apis*) (Keller et al., 2013). La compresenza sia nelle api da miele che nelle api solitarie suggerisce che il passaggio di patogeni tra le api gestite dall’uomo e quelle selvatiche può avvenire.

- *Funghi*. Tra i funghi più studiati ci sono quelli del genere *Ascospaera* responsabili della malattia della covata calcificata; per esempio la specie *A.torchioi* infetta *Osmia lignaria*. Anche se sembrano essere perlopiù specie-specifici (Stephen et al., 1981) una infettività incrociata è possibile (Youssef et al., 1985).

- *Parassiti e parassitoidi*. Le api solitarie sono ospiti di una grande varietà di parassiti, da acari foretici a vespe parassitoidi che uccidono le larve delle api. La maggior parte di questi parassiti non sono specie-specifici e possono essere ritrovati su diverse specie di api solitarie (Krunic et al., 2005). I ritrovamenti in genere si basano sull’osservazione di api gestite dall’uomo. Alcuni esempi sono: vespe della superfamiglia Chalcidoidea che parassitizzano le larve di api tra cui anche quelle del genere *Osmia* (Bosch and Kemp, 2001); acari cleptoparassiti *Chaetodactylus* (Bosch and Kemp, 2002); coleottero *Trichodes apiarius*, comune in Nord Africa ed Europa (Krunic et al., 2005) il quale può causare perdite fino all’89% con una media del 30% nelle colonie (Eves et al., 1980); vespe del genere *Melittobia* che causano gravi perdite nelle popolazioni di *Osmia coerulescens* (Purves et al., 1998).

- *Specie aliene*. Spesso vengono introdotte nuove specie allo scopo di impollinare le colture e non è detto che sia sempre un elemento negativo. L’impatto che ha una specie aliena è molto condizionato dalle specie coinvolte e dall’ambiente, può essere positivo, negativo o neutrale. Bisogna ricordare però che raramente si riescono ad eradicare eventuali specie invasive dannose perciò è fondamentale valutare a fondo le conseguenze delle proprie azioni. Alcuni esempi sono: *Megachile sculpturalis*, originaria dell’Asia, accidentalmente introdotta negli USA in cui ha iniziato a superare nella competizione per i siti di nidificazione la specie nativa *Xylocopa virginica* (Laport and Minckley, 2012); introduzione e diffusione in Sud America del *Bombus terrestris* europeo, responsabile del forte declino e dell’eliminazione da alcune aree d’origine del *Bombus dahlbomii* (Morales et al., 2013).

- *Diffusione di genotipi inadatti*. Le specie di api commercializzate provengono da regioni sparse in tutto il globo con climi anche diversi e ciascuna risponde in modo diverso ai regimi termici del luogo in cui viene rilasciata con la possibilità che anche la stessa specie manifesti tempi di sviluppo notevolmente differenti in climi differenti. Spostare le api comporta anche il rischio che dei geni non adatti al clima locale si diffondano nelle popolazioni selvatiche.

3.8 Beewashing

Sempre più marchi e aziende usano l’*Apis mellifera* come simbolo di naturalità e ambientalismo, o varie associazioni promuovono “l’adozione” di un alveare come gesto per proteggere la natura. Bisogna tener presente che in molte situazioni l’introduzione di colonie eusociali caratterizzate da popolazioni numerose possono sortire l’effetto contrario, danneggiando la biodiversità a causa dell’aumento della pressione nella competizione per le risorse con effetti negativi sulle api selvatiche locali.

Riguardo le api solitarie gestite dall'uomo le più importanti in Europa sono *Osmia cornuta* e *Osmia bicornis*; la gestione di queste specie si è molto semplificata grazie all'uso di box standardizzati per le aggregazioni di nidi e per la raccolta dei bozzoli. Recentemente si sono trasformate in un fenomeno commerciale e mediatico tramite l'introduzione di siti di nidificazione artificiale detti "bee-hotels" per promuovere su piccola scala la conservazione degli impollinatori (Gaston et al., 2005). L'efficacia di questi siti artificiali è da mettere in dubbio in quanto potrebbero favorire maggiormente le specie introdotte rispetto a quelle native, in più riunendo molti esemplari in una zona ristretta possono costituire una trappola ecologica facilitando parassiti e predatori (Maclvor and Packer, 2015). Le api, senza eccezione delle solitarie, al di fuori del loro areale di origine sono effettivamente da considerarsi specie aliene e possono danneggiare le comunità locali di impollinatori competendo per il cibo e i siti di nidificazione e diffondendo organismi patogeni ai quali sono suscettibili gli altri impollinatori.

Anche se non classificabili come beewashing anche numerose iniziative volte alla salvaguardia della biodiversità possono rivelarsi controproducenti come creazione di isole fiorite nelle rotonde, che se ampie potrebbero anche essere adatte per specie di api molto piccole ma in genere si rivelano essere solo delle trappole, per cui il verde urbano deve essere pianificato razionalmente. Oppure la semina in ambienti urbani di piante nettariifere che in realtà sono specie esotiche e favoriscono le specie aliene che trovano così a loro disposizione le stesse piante del loro habitat naturale.

3.9 Consigli sulla gestione

La gestione delle api è un argomento complesso ma si può affermare che il trasporto di nuove specie in nuove aree e continenti può causare, oltre alla diffusione di parassiti e malattie, imprevisti rischi aggiuntivi come cambiamenti nella fauna locale e competizione per le risorse (Roubik and Wolda, 2001). Gran parte degli studi riguardano le api da miele o i bombi, nel caso delle api solitarie il quadro è meno chiaro, ma per prevedere possibili insidie nella gestione delle api solitarie è importante tenere a mente gli impatti negativi finora osservati dalla gestione delle api da miele e dei bombi (IPBES 2016).

La conclusione logica è creare habitat favorevoli agli impollinatori per favorire l'abbondanza e la diversità delle specie piuttosto che ricorrere a una gestione nomade. Se ciò non è possibile è consigliabile ricorrere a specie indigene perché i rischi più alti si hanno quando le specie vengono spostate dal loro areale d'origine (IPBES 2016).

Tutto questo non vuol dire che la gestione umana sia deleteria ma significa che le decisioni vanno valutate in modo critico e ragionato. Se l'apicoltura sfrutta specie locali può essere uno strumento utile alla conservazione e all'incremento della fauna locale e anche della produzione di cibo (Jaffè et al., 2010).

3.10 Valutazione del rischio di estinzione

Il tasso di estinzione delle specie esistenti è da cento a mille volte più elevato per via dell'impatto umano (FAO 2018). Gli insetti verosimilmente costituiranno la grande parte della futura perdita di biodiversità in particolare api e lepidotteri. Cambi nell'uso del suolo, pratiche agricole intensive, monoculture e uso di pesticidi hanno portato a perdite su larga scala, frammentazione e degradazione dei loro habitat. Parassiti e malattie la cui trasmissione è facilitata dalla globalizzazione e dalla riduzione delle distanze fra le colonie di api costituiscono una minaccia significativa. In più i cambiamenti climatici hanno un notevole impatto negativo, alte temperature, siccità, alluvioni e altri venti climatici estremi e il cambio dei periodi di fioritura mettono a rischio le popolazioni degli impollinatori.

3.11 Status delle api in Europa

La principale fonte di informazioni riguardo lo stato di conservazione di una specie animale o vegetale è la IUCN Red List of Threatened Species (www.iucn.org/redlist) che assegna a ogni specie la relativa classe di rischio allo scopo di catalogare ed evidenziare quelli maggiormente in pericolo. Ci sono nove classi di rischio e le specie da considerarsi minacciate da estinzione sono quelle classificate Vulnerable (VU), Endangered (EN) e Critically Endangered (CR). Se la lista è solo a livello regionale si aggiungono le categorie Regionally Extinct e Not Applicable. (Fig. 4)

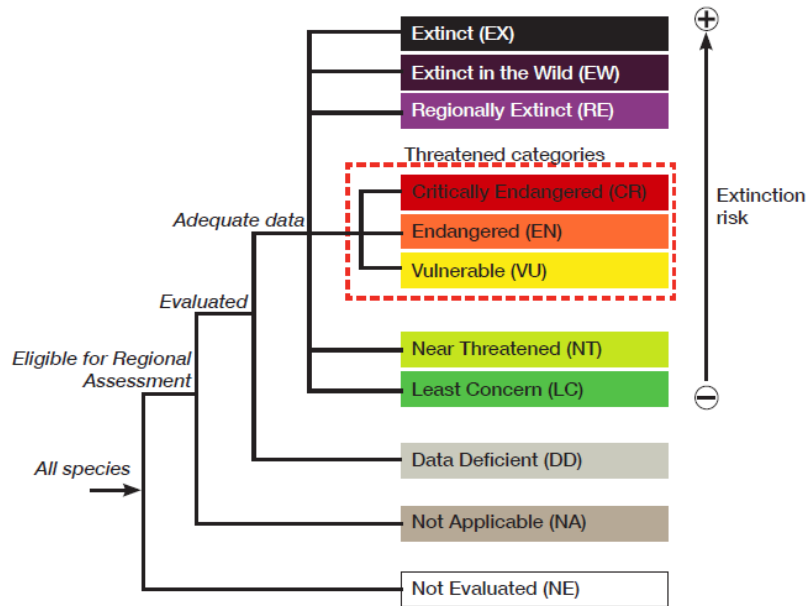


Figura 4 Categorie Red List IUCN

Fig. 4 Categorie Red List IUCN a livello regionale (A. Nieto et al., 2014 Red List)

In Europa lo status delle api, 1965 specie in tutto, è stato valutato su due livelli regionali: l'Europa geografica ed EU27, considereremo quella geografica.

Il 9.2% delle specie a livello europeo sono da considerarsi minacciate, con una variabilità che potrebbe andare dal 4% al 60.7% per via della significativa carenza di dati sul 56.7% di specie che per questo devono essere assegnate alla categoria "Data Deficient" (Fig.4). A livello di famiglia percentualmente le più minacciate sono i Melittidae (18.9%) e i Colletidae (12.8%), le meno minacciate i Megachilidae (1.1%).

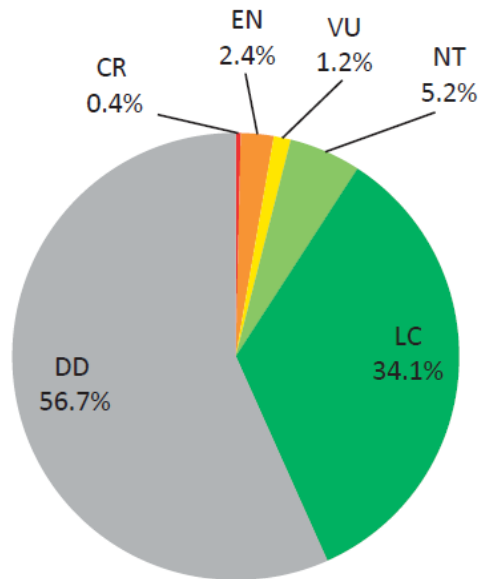


Figura 5 Status delle api in Europa

Fig. 5 Status delle api in Europa (A. Nieto et al., 2014 Red List)

Per quanto riguarda il trend delle popolazioni delle specie di api il 7.7% è in declino, il 12.6% è stabile, lo 0.7% è in aumento e di ben il 79% non si hanno dati sufficienti. (Fig. 5)

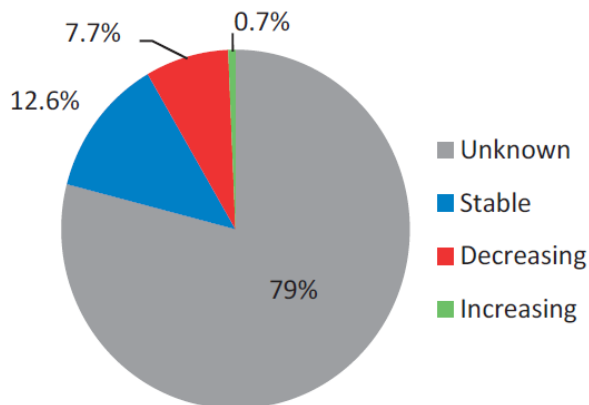


Figura 6 Trend delle popolazioni di api

Figura 6 Trend delle popolazioni di api (A. Nieto et al., 2014 Red List)

Come si può evincere sono molti i dati mancanti e ciò è in parte dovuto alla carenza di fondi a livello europeo che non sono paragonabili al livello americano, a una riduzione nel tempo del numero di tassonomisti e a una tendenza alla specializzazione in campi più ristretti. Sono molte le pubblicazioni riguardo le api in Europa ma sono ben poche quelle che riguardano le categorie tassonomiche più elevate, un esempio di questa mancanza è l'assenza in Europa di una chiave tassonomica paragonabile a quella di Michener per il Nord America.

3.12 Salvaguardia a livello europeo

Non ci sono azioni a livello europeo per la preservazione specifica delle api, piuttosto delle convenzioni mirate a salvaguardare la biodiversità in generale come la Convenzione di Bern del 1979 con lo scopo di proteggere la flora e la fauna selvatica e i loro habitat naturali. La politica di conservazione dell'Unione Europea si basa principalmente sul "Birds" del 1979 e "Habitats Directives" del 1992, con l'obiettivo di preservare gli habitat delle specie che si trovano in Europa attraverso il sistema di aree protette Natura 2000, che conta più di 27,000 siti terrestri e marini (IEEP 2011).

Capitolo 4

Gli Apoidei

Gli animali che comunemente potremmo chiamare api senza preoccuparci molto delle distinzioni sono insetti facenti parte dell'ordine degli Imenotteri, sottordine Apocrita, sezione Aculeata (formata da formiche, api e vespe). Le api sono molto simili a un particolare gruppo di vespe, le vespe sfecidi (dette anche vespe scavatrici), ed insieme a loro costituiscono la superfamiglia Apoidea divisibile in due gruppi, le vespe sfecidi o Spheciformes, e le api o Apiformes (chiamati anche Anthophila) costituite dalle seguenti famiglie: Andrenidae, Apidae, Colletidae, Dasypodidae, Halictidae, Megachilidae, Meganomiidae, Melittidae e Stenotritidae.

Le api, come tutti gli insetti ometaboli, nel corso della metamorfosi passano attraverso gli stadi di uovo, larva, pupa e adulto. (Fig. 7)

Le uova, più piccole nelle api sociali rispetto a quelle delle api solitarie, presentano un corion morbido e sono generalmente allungate e incurvate. Vengono poggiate o sul cibo, precedentemente accumulato, di cui si nutriranno e sufficiente per tutta la loro crescita, o sul pavimento della cella se si tratta di uova di api che nutrono progressivamente la prole.

Le uova possono contenere un individuo di sesso femminile o maschile a seconda se l'uovo sia fecondato o meno. Questo meccanismo di determinazione del sesso è chiamato aploidiploidia e caratterizza alcuni ordini di insetti tra cui gli Imenotteri; le uova fecondate daranno origine a femmine diploidi, mentre uova non fecondate origineranno maschi aploidi. Le femmine quando si accoppiano ricevono cellule spermatiche sufficienti per tutta la vita che immagazzinano nella spermateca e possono controllare il sesso di ciascun uovo che depongono liberando o meno le cellule spermatiche nel momento in cui l'uovo passa nell'ovidotto comune.

Tra le api il cui nido è costituito da celle consecutive, la femmina depone le uova di sesso maschile verso l'entrata, in modo che i maschi adulti possano uscire senza disturbare le femmine che richiedono più tempo per svilupparsi. Il numero di uova che un'ape può deporre nel corso della sua vita varia molto, da otto o meno per alcune api solitarie a più di un milione per le regine di specie eusociali.

Le larve sono apode ed eucefale, di colore bianco. Come le larve di altri Aculeata, esse non possono defecare, mancando il collegamento tra il mesentero e il proctodeo. La defecazione avviene solo quando la larva diventa larva matura o prepupa. La prepupa è lo stadio in cui in genere l'insetto trascorre le stagioni sfavorevoli o anche anni, nell'ottica di una strategia di

sopravvivenza che permette l'emergenza degli adulti solo nei momenti più favorevoli. Le larve dopo la defecazione iniziano a tessere un bozzolo, generalmente costituito da due o più strati separabili, fatto da una impalcatura di fibre di seta sulle quali si solidifica una matrice liquida di secrezioni anche se molte api, soprattutto le short-tongued hanno perso questo comportamento e sono protette semplicemente dalla cella costruita dalla madre. Si ha poi la pupa, abbastanza delicata, che si sviluppa velocemente, è uno stadio che non sopravvive a lungo a periodi sfavorevoli.

L'adulto lascia il nido e si accoppia e, se femmina, a seconda della specie ritornerà al nido che ha lasciato o andrà altrove a costruirne uno nuovo. Molte api hanno una vita di breve durata, nell'ordine delle settimane, per altre invece la durata si allunga se passano la stagione sfavorevole come adulti, ad esempio molte specie del genere *Andrena*, che maturano in autunno e svernano nelle loro celle in attesa della primavera; infine alcune api vivono per periodi di alcuni anni, come le regine delle specie eusociali.

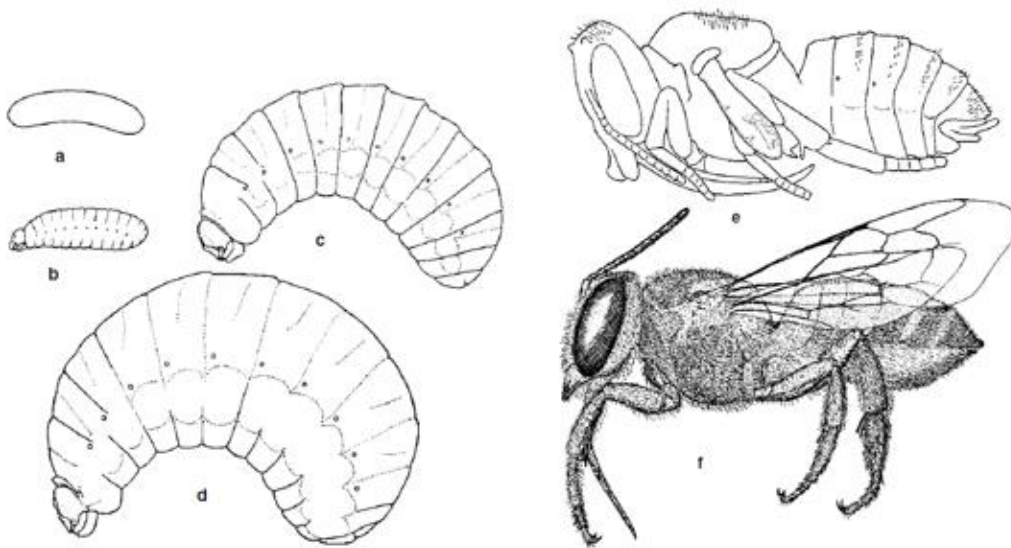


Figura 7 Stadi del ciclo vitale di un'ape

Fig. 7 Stadi del ciclo vitale di un'ape, *Megachile brevis* Cresson: a-uovo; b-primo stadio; c-metà crescita; d-larva matura; e-pupa; f-adulto. (Michener 1953b)

Nell'ambito dell'accoppiamento l'interazione maschio-femmina e la ricerca di un partner si svolgono in vari modi: in alcune specie i maschi volano intorno ai fiori o ai siti di nidificazione, in altre femmine e maschi si ritrovano su particolari tipi di piante che non hanno alcun ruolo nella nidificazione o nel nutrimento, in altre ancora le femmine o i maschi producono dei feromoni per attrarre il partner, infine in specie come *l'Apis mellifera* i maschi si radunano in determinate aree in attesa delle femmine.

Prima di parlare dell'interazione maschio-maschio è interessante notare una caratteristica maschile: la prevalenza di peli di colorazione gialla o bianca presenti solitamente sul clipeo. I Megachilidae frequentemente presentano folti peli gialli o bianchi sulla faccia del maschio ma non su quella della femmina. Nei tentativi di accoppiamento i maschi approssimano le femmine dall'alto o da dietro così che nessuno dei sessi ha una buona visuale frontale dell'altro perciò si suppone che questi elementi gialli o bianchi del maschio non abbiano a che fare con

l'interazione maschio-femmina ma piuttosto maschio-maschio dato che in genere si affrontano in dispute di varia natura uno di fronte l'altro.

Le api presentano una vasta gamma di comportamenti e organizzazione sociale, in un ampio spettro che va dalla vita solitaria a quella in colonie.

4.1 Organizzazione sociale

Un'ape si definisce solitaria quando costruisce il suo nido e provvede al cibo per la sua prole, non riceve aiuto da altre api e solitamente muore o lascia il nido prima che i suoi figli raggiungano la maturità. A volte alcune femmine solitarie nutrono e si occupano della prole piuttosto che accumulare semplicemente il cibo per loro: questo tipo di comportamento si chiama "sub-social".

Una colonia invece consiste in due o più femmine adulte, a prescindere dal loro rapporto sociale, che vivono in un singolo nido.

Per molte persone le api sono insetti sociali che producono miele e che vivono in colonie perenni composte da una regina e dalle sue molte figlie operaie. Questo è la verità per due tribù, gli Apini e i Meliponini (famiglia Apidae). Regine e operaie in questi casi sono morfologicamente molto diverse. La regina non può vivere da sola né le operarie possono formare nuove colonie dato che non possono accoppiarsi e produrre prole femminile. Queste api vengono chiamate altamente eusociali.

Molte altre api, tra cui Bombini e Halictinae, possono vivere in piccole colonie generalmente fondate da una singola femmina solitaria che inizialmente si occupa di svolgere tutte le funzioni necessarie alla costruzione, alla raccolta del cibo e alla deposizione delle uova. In seguito con la nascita delle figlie inizia la vita della colonia vera e propria con la divisione dei compiti. La regina e le operaie sono sostanzialmente simili morfologicamente. Questo tipo di api si definisce primitivamente eusociale.

La eusocialità è la caratteristica delle colonie in cui è presente la divisione dei compiti tra femmine adulte di generazioni diverse. "Gli animali che presentano un'organizzazione sociale in cui i membri della colonia appartengono a due o più generazioni distinte, collaborano ad allevare prole immatura che viene generata solo da alcuni particolari tipi di individui appartenenti alla stessa colonia e che presenta una fondamentale divisione dei ruoli tra individui che si riproducono e individui sterili sono detti eusociali" (Stefano Turillazzi, *Le società delle vespe*, Alberto Perdisa Editore, Bologna 2003). Per questo non tutte le api che vivono in colonie possono essere definite eusociali.

Colonie in cui è presente la divisione dei compiti, con una regina che depone e operaie che bottinano, ma le femmine sono della stessa generazione vengono definite semisociali.

Colonie in cui le femmine convivono in un nido, cooperano nella costruzione del nido e nell'approvvigionamento del cibo ma ciascuna depone le sue uova sono definite quasi-sociali. In altre colonie di api manca la divisione dei compiti o mancano caste: tali colonie si definiscono "communal" (comunitarie). Due o più femmine usano lo stesso nido ma ciascuna provvede alla propria prole indipendentemente.

Esistono anche api che possono assumere un comportamento sociale diverso rispetto alla tipologia della colonia da cui provenivano in funzione della variazione di alcuni fattori ambientali quali la temperatura, come alcune specie di Halictinae (Eickwort et al. 1996). A sua volta il comportamento comunitario può essere facoltativo, assunto in particolari condizioni quali ad esempio la presenza di un substrato molto duro per cui è più facile per le api occupare e convivere in un nido preesistente piuttosto che scavarne uno singolarmente (Michener, Rettenmeyer, 1956).

Infine può accadere che gruppi di individui nidifichino indipendentemente ma numerosamente in un'area limitata, questo tipo di raggruppamento viene chiamato aggregazione.

Una spiegazione, anche se parziale e non sufficiente, alla frequente presenza del comportamento eusociale negli imenotteri rispetto ad altri animali risiede nel meccanismo aploidiploide di determinazione del sesso per cui la relazione genetica tra sorelle è più vicina rispetto a quella tra madre e figlia. Questo meccanismo fa in modo che le operaie guadagnino in fitness (contributo alla prosecuzione della specie) restando con la madre e allevandone la prole piuttosto che allevandone una propria. L'aploidiploidia non è comunque sufficiente a giustificare la formazione di colonie, essendone state osservate alcune formate da individui non necessariamente imparentati; dunque bisogna supporre che alla base della formazione delle colonie siano coinvolti anche fattori ecologici come la comune difesa del nido contro nemici naturali (Lin and Michener, 1972).

Contrariamente al senso comune che potrebbe indurre a pensare all'eusocialità come lo stadio finale di un processo evolutivo che parte dalla vita solitaria, sembra invece molto probabile che sia comparsa come tratto direttamente da antenati solitari (Michener, 1985 b) e che il comportamento comunitario non sia un presupposto che conduce all'eusocialità (Danforth et al., 1996). Parlare di evoluzione del comportamento sociale può causare confusione presupponendo che i vari comportamenti siano segno di un minore o maggiore grado evolutivo, ipotesi confutata dai molti casi di Halictinae primitivamente eusociali che evolvendosi sono diventate solitarie (Packer, 1997).

4.2 Il nido

Nelle api il nido è il luogo in cui viene allevata la prole e consiste generalmente in celle che contengono la covata. Una cella serve a proteggere i fragili stadi immaturi e, in molti casi, a contenere anche il cibo per la crescita della larva. Generalmente ogni cella contiene una singola larva anche se in molte specie di *Bombus* le uova sono ammassate insieme in una cella di cera che viene man mano allargata a seconda della crescita delle larve. Tranne questa eccezione le celle sono grandi abbastanza da contenere un esemplare maturo fin dall'inizio. Molte api scavano le celle in un substrato (generalmente il suolo), le rivestono con uno strato di materiale terroso, tamponano la superficie fino a renderla liscia e applicano alla superficie un film di secrezioni definite "secrezioni scintillanti".

I nidi più semplici consistono in cavità preesistenti, in steli o nel suolo, o da un tunnel non ramificato scavato dalla femmina, che vengono ripuliti e rifiniti con materiale pressato e la prole viene allevata nel fondo. Queste cavità tubulari possono terminare in un'area con delle celle o le celle stesse possono essere ottenute dalla suddivisione trasversale del tunnel con setti costruiti con materiali vari. (Fig. 8)

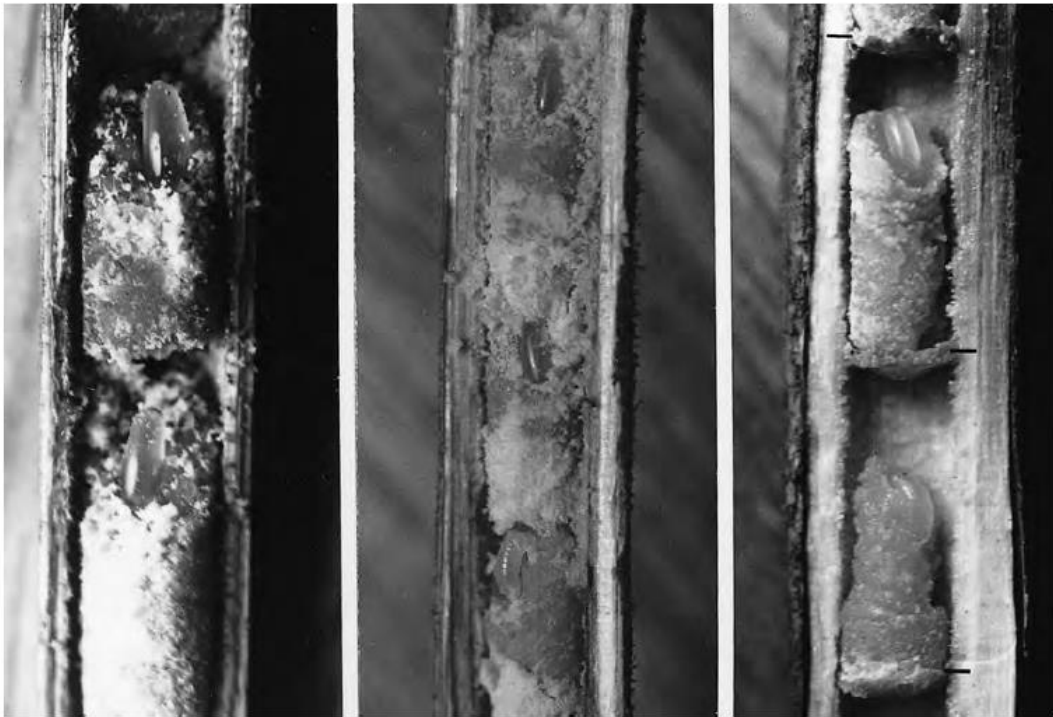


Figura 8 Parti di tre nidi di *Heriades spiniscutis*

Fig. 8 Parti di tre nidi di “*Heriades spiniscutis*” Cameron, in steli secchi. Il nido di destra ha dei setti marcati dalle linee orizzontali, gli altri due no. Tutti i nidi contengono uova o larve giovani sopra masse di cibo (Michener, 1968b)

Molti nidi di api sono costituiti da un tunnel principale che si ramifica in tunnel laterali che terminano in una singola cella, sviluppandosi su più piani o radialmente su un unico piano. In alcuni casi dei nidi possono essere delle semplici celle fatte di resina, fango o materiale vegetale costruiti sulla superficie di rocce o rami.

Infine i nidi più elaborati, come quelli dei Meliponini, sono fatti da gruppi di celle protette da un involucro a molteplici strati di resine e cera. Questi nidi possono trovarsi esposti o essere costruiti in cavità del suolo o di alberi.

Una distinzione che possiamo fare tra le api è in base alla modalità di nutrizione delle larve, tra quelle che nutrono le larve progressivamente e quelle che forniscono il nutrimento in un'unica volta. Le uniche api che nutrono progressivamente la prole sono le *Apis* spp, *Bombus* spp e gran parte degli Allodapini. Molte api invece riforniscono ciascuna cella con abbastanza cibo per l'intera crescita della larva e dopo che il cibo è stato accumulato e l'uovo deposto la cella viene chiusa. In queste specie le pareti della cella sono rivestite da uno strato di secrezioni che la rendono impermeabile, per proteggere la larva sia dal disseccamento sia dall'annegamento e impediscono che il cibo si liquefi assorbendo un eccesso di umidità (rischiando di far annegare la larva) o percoli se già liquido. Questa secrezione svolge anche una funzione battericida e fungicida per evitare il deterioramento del cibo e se le pareti della cella non ne sono rivestite generalmente lo è direttamente la massa di cibo. La secrezione prodotta per rivestire le celle è molto probabilmente prodotta dalle ghiandole di Dufour che si trovano alla base del pungiglione (Cane and Tengo, 1981) a cui si aggiungono prodotti delle ghiandole salivari.

4.3 Morfologia degli Apoidei

Nella classe degli insetti si può notare la metameria eteronoma del corpo ossia il suo essere composto da una successione lineare di segmenti definiti metameri che presentano differenze per funzioni o struttura e che vanno a costituire capo, torace e addome, a cui si aggiungono le appendici del capo, le specializzazioni dell'VIII e IX urite ed eventualmente ali. La struttura dell'*Apis mellifera* di cui verranno elencati alcuni elementi caratteristici è un buon punto di partenza se si vuole comprendere la morfologia esterna degli Apiformes. Per quanto riguarda il torace generalmente negli insetti è formato da segmenti ad anello costituiti da una regione ventrale detta sterno e una dorsale detta tergo collegate lateralmente da due membrane dette pleure. Il torace, formato da tre segmenti, viene suddiviso in tre parti: protorace, mesotorace e metatorace. A questi tre elementi segue l'addome costituito generalmente da dieci segmenti definiti uriti costituiti da una regione ventrale detta urosterno, una dorsale urotergo, collegate lateralmente da una membrana. Negli Apiformes, e in generale negli imenotteri apocriti, tuttavia il primo segmento addominale è incorporato nel torace formando un quarto segmento chiamato propodeo e torace e addome sono collegati da una strozzatura detta peziolo. Per evitare confusione nella numerazione dei segmenti addominali dunque si preferisce usare il termine metasoma invece di addome e il primo segmento del metasoma (il cui urosterno e urotergo saranno abbreviati con S1 e T1) sarà perciò quello che definiremmo normalmente il secondo segmento addominale.

4.3.1 Il capo

Il capo (Fig. 9-10), costituito dalla fusione di sei segmenti, presenta due fori: l'apertura boccale con le appendici boccali e il foro occipitale che si collega attraverso il collo al torace. L'apparato boccale è di tipo lambente-succhiante costituito da due mandibole, un complesso maxillo labiale formato da diverse parti come "due palpi labiali, due palpi mascellari, due galee, due paraglosse e le glosse che si uniscono a formare la ligula" ("Le api", Alberto Contessi 1983). Nel capo troviamo due occhi composti e tre ocelli, due antenne, articolate al capo entro alveoli detti toruli, costituite da segmenti detti antennomeri; quasi tutti gli Apiformi presentano una "subantennal suture" che si estende dall'alveolo fino alla sutura epistomale (ossia la sutura che marca il limite superiore del clipeo). Sul capo ritroviamo anche le cosiddette "foveae" ossia due depressioni pari di colore generalmente scuro, nell'area vicino gli occhi composti al di sopra delle basi delle antenne.

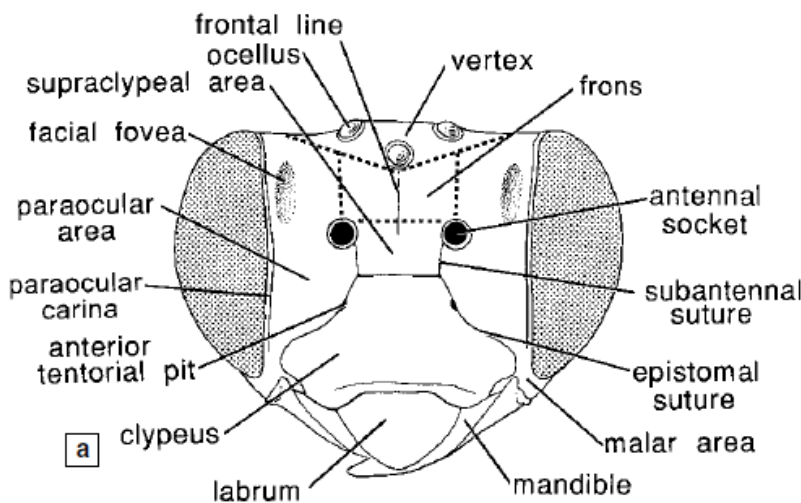


Figura 9 visione anteriore della testa di un'ape

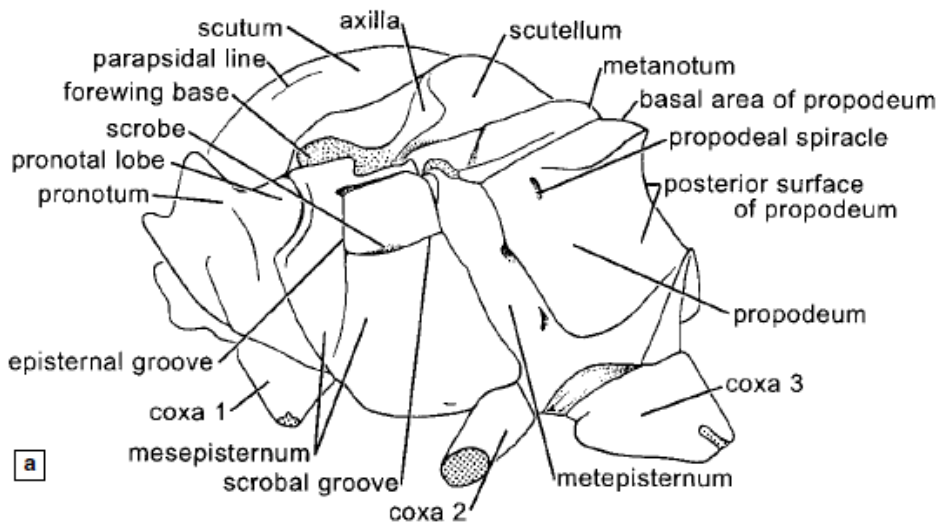


Figura 11 visione laterale del torace di un'ape

Fig. 11, visione laterale del torace di un'ape (la tegula è omessa) (Michener, McGinley e Danforth 1994)

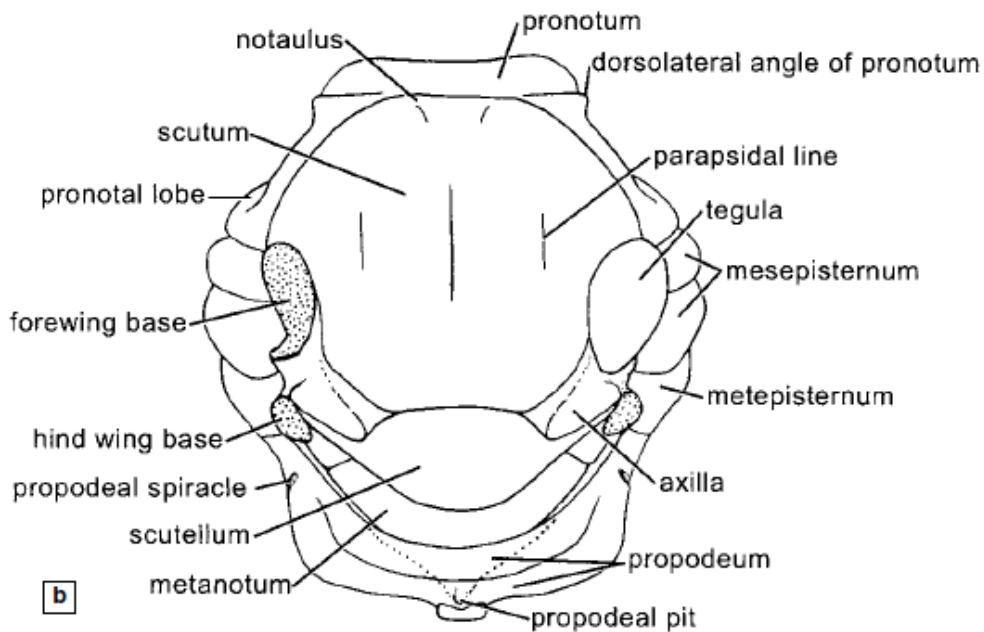


Figura 12 visione dorsale del torace di un'ape

Fig. 12, visione dorsale del torace di un'ape (la tegula è omessa a sinistra) (Michener, McGinley e Danforth 1994)

4.3.3 Le ali

Le ali sono organi vivi in cui corrono trachee e nervi e scorre entro appositi canali l'emolinfa, "sono estroflessioni membranacee del II e III segmento del torace percorse da nervature rigide

e cave” (Le Api, Contessi), le nervature contribuiscono a dare una impalcatura alle lamine alari e ricevono nomi diversi a seconda della loro posizione sull’ala, le ali anteriori sono più grandi delle posteriori e sono unite tra loro tramite un collegamento con uncini posti sul margine anteriore del II paio chiamati hamuli (Atlante entomologico, Fiori et al., 1983) e ripiegature del margine posteriore del I paio.

4.3.4 Le zampe

Le zampe (Fig.13) sono appendici pluriarticolate formate da sei segmenti principali che in senso prossimale distale sono: coxa, trocantere, femore, tibia, tarso e pretarso. Le tibie presentano uno sperone tibiale, generalmente uno sulle tibie anteriori e centrali, due su quelle posteriori. Il tarso è diviso in articoli più piccoli detti tarsomeri ed il pretarso è fornito di artigli e una ventosa. Ciascun paio di zampe presenta elementi utili all’ape operaia per lo svolgimento dei suoi compiti. Sulle zampe anteriori è presente un organo tibio-tarsale per la pulizia delle antenne detto strigile, un incavo semicircolare rivestito da una serie di setole; sulle centrali troviamo in molte api dalla lingua corta un paio di pettini (singola fila di setole) o spazzole (setole meno organizzate) opponibili utili a trasferire il polline dalle zampe anteriori dello stesso lato (Jander, 1976). Nelle zampe posteriori raggiungiamo il massimo grado di specializzazione: nella parte superiore esterna della tibia si trova la “basitibial plate”, ben sviluppata nelle femmine delle specie che nidificano nel suolo per supportare al meglio il movimento all’interno della tana o l’azione di tamponare le superfici delle celle con la placca pigidiale; sulla superficie interna della tibia troviamo un’area coperta da particolari peli detti keirotrichia (Fig. 14) per la pulizia delle ali; infine in alcuni Apiformi è presente una pinza tibio-tarsale per il prelievo delle scaglie di cera.

Un importante elemento degli Apiformi è la presenza della cosiddetta scopa, che i maschi non hanno, consiste in peli e spazzole e serve ad accumulare e trasportare il polline. La scopa si trova generalmente sulle zampe posteriori ma nei Megachilidae si trova sugli sterna del metasoma. Se frange di peli circondano un’area in cui il polline viene trasportato si dice che formano la corbicula, il cui esempio più noto è quello degli Apidi corbiculati.

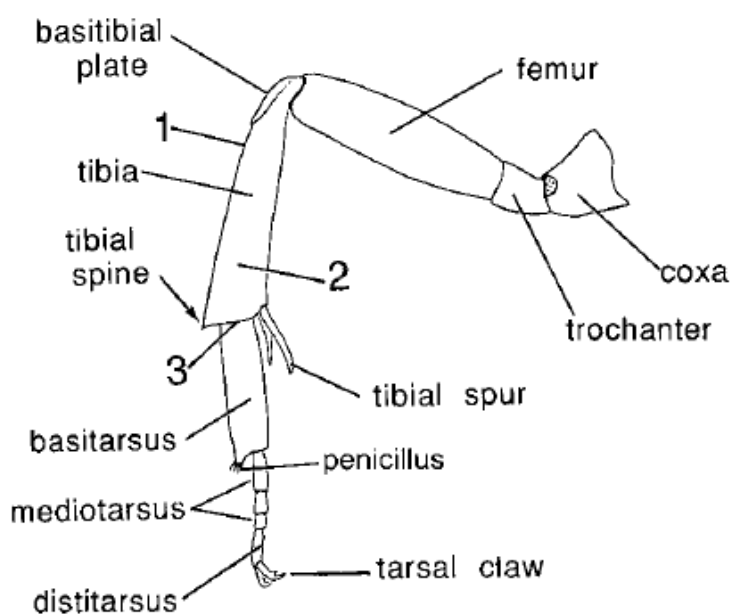


Figura 13 visione frontale della zampa posteriore di un’ape

Fig. 13, visione frontale della zampa posteriore di un'ape, i numeri indicano: 1 margine superiore della tibia, 2 superficie esterna della tibia, 3 margine distale della tibia (Michener et al., 1994)

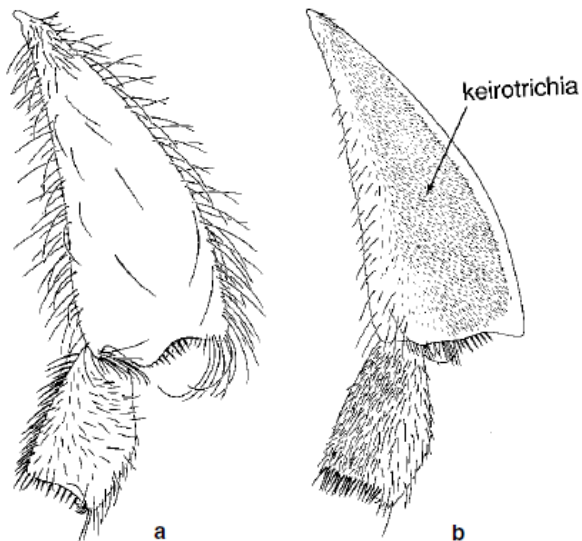


Figura 14 tibia e basitarso posteriori di un'operaia

Fig. 14, tibia e basitarso posteriori di un'operaia di "*Plebeia frontalis*" (Friese). La figura a mostra la superficie esterna, con la scopa costituita da frange di peli attorno alla liscia e larga corbicula sulla tibia. La figura b mostra la superficie interna (Michener et al., 1994)

4.3.5 Metasoma

Il metasoma come precedentemente accennato è costituito da segmenti detti uriti, in cui le regioni ventrali e dorsali sono costituite da placche segnate da linee trasversali. La prima linea nel margine anteriore, sempre nascosta, è la "antecostal suture", ai cui bordi sono presenti degli apodemi, ossia una porzione di esoscheletro che si continua nella cavità corporea. Verso il centro dello sclerite si trova il gradulus che può continuare lateralmente tracciando una linea longitudinale per lato detta braccio laterale del gradulus e può anche essere carenata. Successivamente c'è un'area chiamata disco, leggermente sopraelevata in modo che il gradulus sia come un piccolo gradino, delimitata posteriormente dalla "premarginale line" a cui segue la parte finale dello sclerite detta zona marginale. In vari Apiformi se sono presenti le foveae facciali allora saranno presenti anche sul T2 delle foveae laterali che presentano delle cellule secernenti (Ramos et al. 2004). Nel metasoma troviamo anche la "pygidial plate" (fig. 17) una placca generalmente piatta, presente sul T6 nelle femmine e T7 nei maschi, solitamente delimitata da linee o careniture. Sull'apice del T5 delle femmine si può trovare la "prepygidial fimbria" un insieme di peli più folto rispetto a quelli presenti sugli apici degli altri terga, se non è più folto non viene considerato come tale. Sul T6 ai lati della "pygidial plate" troviamo i densi peli delle "pygidial fimbria". Le femmine degli Apiformi, facendo parte della sezione degli Aculeata, presentano generalmente un ovopositore morfologico trasformato in apparato pungente in cui tre paia di valvule formano rispettivamente le lancette, lo stiletto dell'aculeo e la guaina che lo racchiude; i maschi sono privi di apparato pungente. Elementi del metasoma rappresentati in dettaglio nelle figure 15-16.

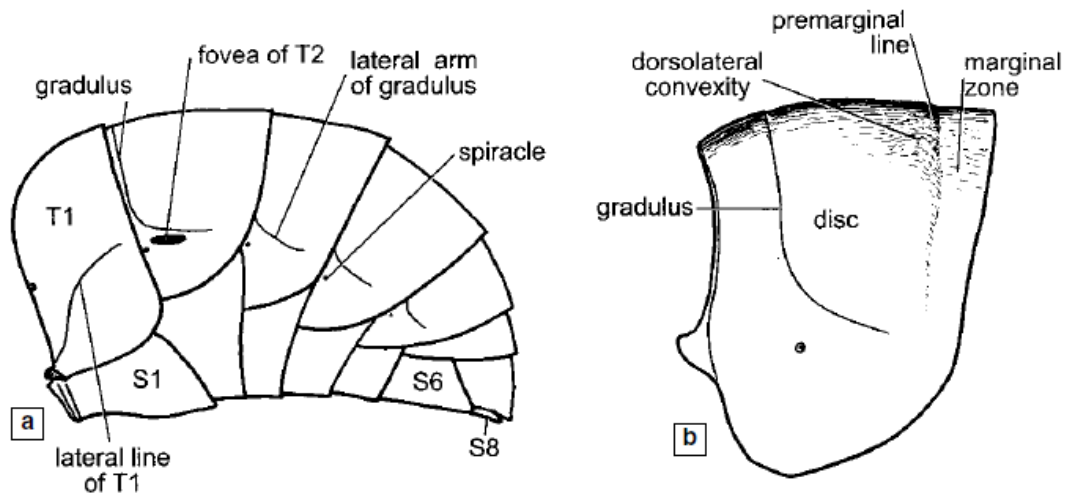


Figura 15 Metasoma di un maschio di ape

Fig. 15 Metasoma di un maschio di ape (Michener 1944) a, visione laterale del metasoma; b, visione laterale di T3.

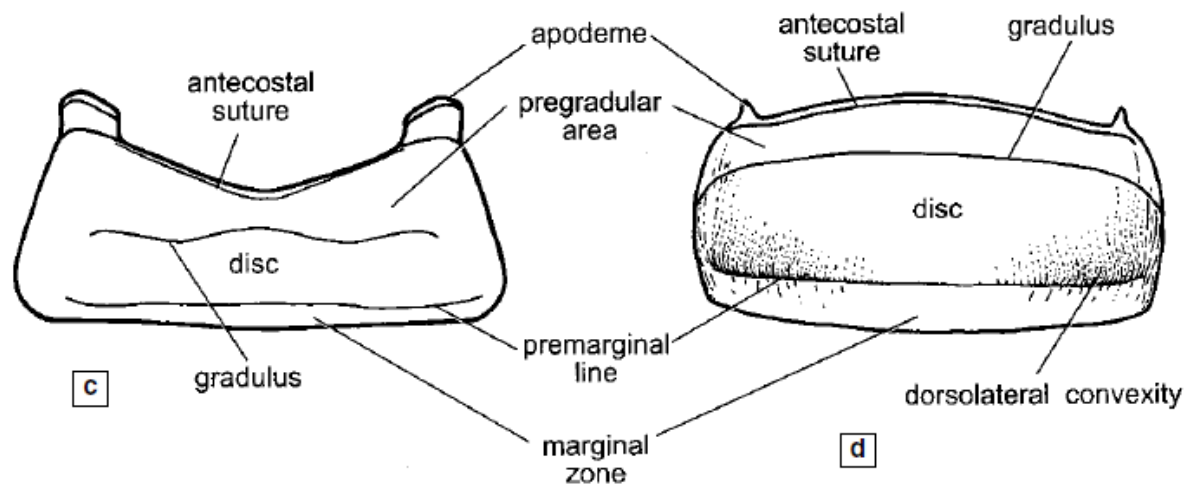


Figura 16 Particolari del metasoma di un'ape maschio

Fig. 16 Particolari del metasoma di un'ape maschio (Michener 1944) c, visione ventrale di S3; d, visione dorsale di T3.

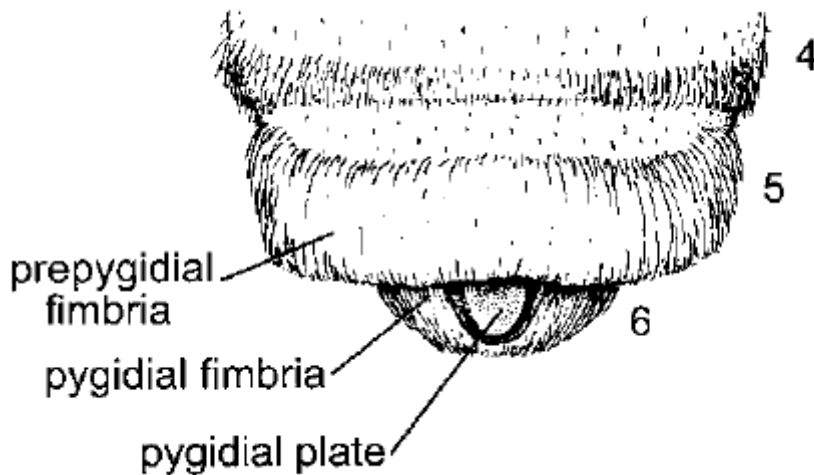


Figura 17 Metasoma di un'ape femmina

Fig. 17 Metasoma di un'ape femmina (Michener 2007), i numeri rappresentano i relativi segmenti del metasoma.

4.3.6 Apiformi come gruppo monofiletico

Gli Apiformi e gli Sfeciformi sono uniti nella superfamiglia degli Apoidea, presentando caratteristiche comuni come il lobo del pronoto solitamente piuttosto piccolo e ben separato dalla tegula che li differenzia dagli altri imenotteri aculeati in cui la parte posteriore e laterale del pronoto invece arriva a raggiungere la tegula; si considera anche l'estensione ventrale e laterale del pronoto che circonda il torace arrivando dietro la coxa frontale e anche il modo di pulire il dorso del torace utilizzando i tarsi centrali e non quelli frontali come invece gran parte degli imenotteri.

Gli Apiformi costituiscono un gruppo monofiletico, ossia in cui le specie comprese sono tutte e le sole discendenti di un antenato comune (Michener 1944) e lo si può dimostrare mettendo in risalto alcune sinapomorfie, ossia i caratteri ereditati da un antenato in comune che gli organismi presentano.

Primo esempio: molti peli sono piumosi o ramificati mentre in gran parte degli imenotteri sono semplici. Si suppone che l'origine di questa caratteristica non sia legata alla funzione di raccolta e trasporto del polline, anche se alcuni traggono comunque vantaggio dalla piumosità per lo svolgimento di questa funzione, dato che in molti Apiformi i peli si trovano in zone in cui il polline non viene trasportato o che in alcuni i peli della scopa sono semplici ma comunque in grado di trasportare il polline o che la ramificazione di alcuni peli non è adatta al compito. L'origine di questo tipo di peli piumosi o ramificati piuttosto potrebbe essere legata all'ambiente xerico in cui si suppone abbiano avuto origine gli Apiformi, la piumosità potrebbe diminuire il flusso d'aria vicino al corpo riducendo la perdita di acqua e visto che molto spesso i peli presentano colorazioni chiare sarebbero utili nella riflessione della luce, prevenendo il surriscaldamento.

Secondo esempio: a parte poche eccezioni, le larve degli Apiformi si nutrono di polline e nettare mentre in genere le larve degli imenotteri con cui sono maggiormente imparentati sono carnivore.

Terzo esempio: il basitarso posteriore è più largo dei segmenti successivi mentre in altri aculeati è della stessa dimensione.

Quarto esempio: manca lo strigile tibio-tarsale delle zampe posteriori, usato per pulire le zampe posteriori del lato opposto, presente in molti aculeati. Gli Apiformi puliscono le zampe posteriori invece strofinandole l'una sull'altra.

Quinto esempio: le zampe anteriori vengono pulite facendole passare attraverso la giuntura femoro-tibiale delle zampe centrali, comportamento non osservato in altri imenotteri.

Sesto esempio: la "basitibial plate" che si trova ben sviluppata soprattutto nelle femmine delle specie che scavano nel suolo è assente negli Sfeciformi.

Settimo esempio: le larve presentano mandibole con due denti, più semplici rispetto ad altri Aculeati che presentano tre o più denti. Tale riduzione è dovuta all'alimentazione di polline e nettare e non invece di altri Artropodi.

4.3.7 Short-tongued e Long-tongued

Un'importante distinzione che possiamo fare all'interno degli Apiformi è quella tra il gruppo detto long-tongued (L-T lingua lunga) (fig. 18) e quello detto short-tongued (S-T lingua corta) (fig. 19). Nei L-T i primi due segmenti dei palpi labiali sono allungati e appiattiti a formare una specie di fodero, insieme alle galee mascellari formano un tubo in cui la glossa si muove avanti e indietro, nei S-T invece questi elementi non sono modificati. Nei L-T la glossa è allungata e in senso longitudinale i margini laterali che quasi si richiudono formano il canale della glossa. Alcuni S-T invece presentano elementi molto allungati come setole delle galee mascellari che aiutano a raccogliere il nettare imbibendosi e trasportandolo alla bocca per capillarità.

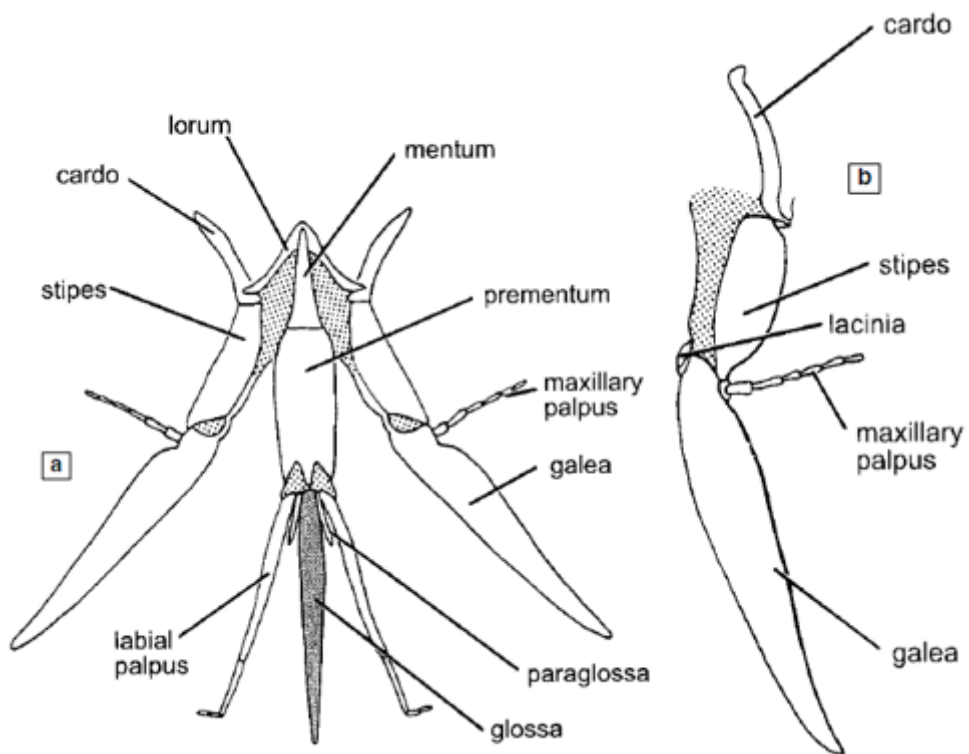


Figura 18 Proboscide di un'ape long-tongued

Fig. 18 Proboscide di un'ape (Michener et al., 1994) a, proboscide distesa di una L-T; b, mascella della stessa.

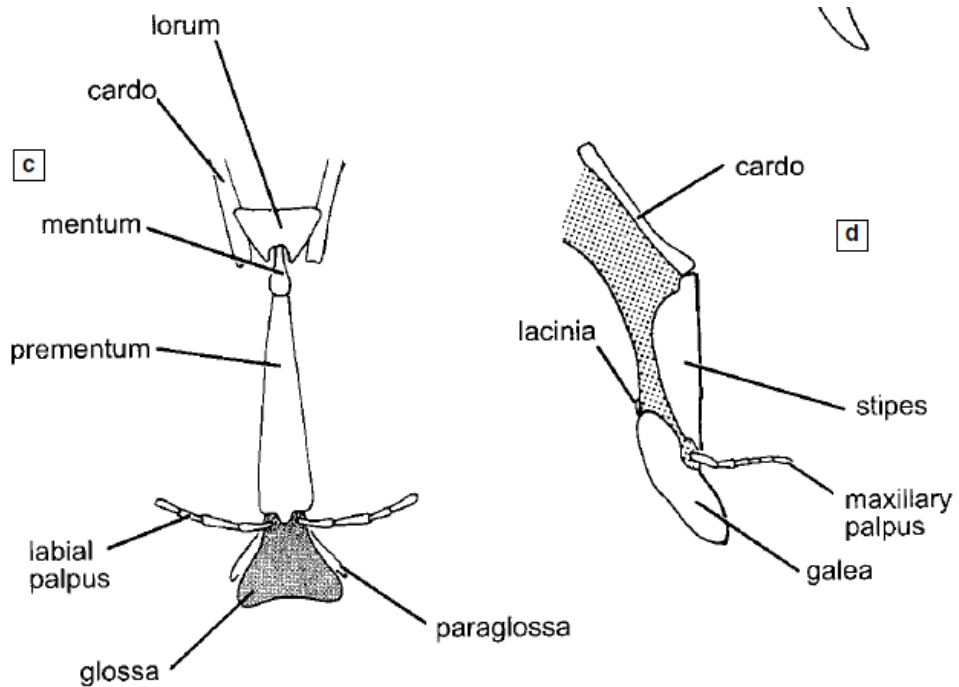


Figura 19 Ape short-tongued

Fig. 19 Ape S-T (Michener et al., 1994) c, labbro e parte dei cardini mascellari; d, mascella della stessa.

4.4 Diffusione e abbondanza relativa

Gli Apiformi sono diffusi in tutti i continenti e raggiungono la massima abbondanza in numero di specie non nei tropici ma nelle regioni temperate a regime xerico, ossia il bacino del Mediterraneo e la regione della California in Nord America. Questa distribuzione può essere spiegata dal fatto che la maggior parte degli Apiformi nidifica nel suolo e vi immagazzina cibo facilmente deperibile (polline e nettare) in celle che sono rivestite soltanto da un leggero film di secrezioni. In ambienti umidi ciò favorisce l'attacco di funghi che possono risultare letali per le larve, in più l'umidità viene assorbita dal cibo che si liquefa e annega le larve, infatti le specie più diffuse nei climi umidi sono quelle che non nidificano nel suolo o che non vi costruiscono semplici celle. Altri fattori possono essere una intensa predazione da parte delle formiche nelle regioni tropicali e la presenza di altre specie altamente eusociali che non sono solo molto numerose ma anche attive durante tutto l'anno rappresentando un aggressivo competitore per le risorse presenti. Questo può essere un fattore decisivo in quanto è stato osservato da D.W.Roubik e Michener (Michener 2007) come grandi quantità di api solitarie presenti sull'Isola du Diable nella Guiana Francese diminuivano fortemente in numero sulla terraferma poco lontana quando dovevano competere con la presenza di api altamente eusociali che sull'isola erano invece assenti.

Moltissime specie di api popolano savane, ossia un tipo di bioma in cui alberi e arbusti sono distanziati in modo da non creare una volta chiusa, e i margini delle foreste, prosperando in ambienti moderatamente disturbati dall'azione dell'uomo. Le foreste dei climi temperati non sono mai state un buon posto per le api dato che sono costituite perlopiù da specie che non offrono fiori su cui le api possano bottinare. L'azione dell'uomo, con il taglio dei boschi, la creazione di pascoli e con i margini dei campi coltivati, facendo aumentare le specie vegetali che le api potevano visitare, ha avuto un ruolo importante nell'aumento delle api come protagonisti dell'impollinazione della vegetazione selvatica, anche le praterie naturali sembrano avere meno api rispetto a zone che hanno subito un'influenza antropica. Questo correlazione però non vuol dire che maggiore è l'influsso dell'uomo maggiore è il beneficio per le api.

4.5 Relazione delle api con la flora

Le api traggono il loro nutrimento principalmente dai fiori: sia lo stato adulto che quello larvale sono legate ai fiori, al consumo di nettare e polline.

Il nettare rappresenta la principale fonte di carboidrati nell'alimentazione delle api. L'ingestione del nettare avviene attraverso la proboscide, costituita da una guaina formata dalle galee mascellari e, nelle api dalla lingua lunga, anche dai palpi labiali che avvolgono la glossa. Il flusso del nettare avviene per capillarità e per movimento della glossa lungo il canale di suzione.

Il polline invece è la principale fonte di proteine. Portato nel nido principalmente come cibo per le larve, viene consumato anche dagli adulti, specialmente femmine che depongono uova. Grandi quantità di polline infatti sono state trovate nello stomaco di giovani adulte che deponevano uova ma anche in operaie giovani, facendo supporre che il polline abbia un ruolo anche nello sviluppo delle ghiandole esocrine (Cruz-Landim and Serrao, 1994) mentre non era presente in api più anziane con ovaie atrofizzate.

Vento e api sono tra gli agenti impollinatori più importanti. Le api sono molto importanti o addirittura essenziali per l'impollinazione e dunque per la riproduzione sessuale di molta della vegetazione naturale e di molte colture agricole. La fecondazione degli ovuli si verifica grazie al polline che le api trasportano con loro e perdono senza volere sugli stigmi durante la raccolta di nettare, polline o altri materiali.

Gli impollinatori appartenenti alla superfamiglia Apoidei sono principalmente api femmine che raccolgono il polline. Anche i maschi di quasi tutte le specie prendono il nettare dai fiori ma trasportano solo il polline che casualmente si attacca ai loro corpi perciò rivestono un ruolo meno importante nell'impollinazione rispetto alle altre femmine adulte, che nelle colonie eusociali sono anche in numero molto maggiore rispetto ai maschi. A loro volta le api parassitiche non avendo una folta peluria ricoprono un ruolo ancor meno importante rispetto a quello dei maschi di specie con peluria folta.

Tra le api una distinzione, ricordandosi che esistono comunque varie sfumature, può essere fatta in base ai fiori su cui bottinano. Specie che visitano praticamente tutti i fiori si possono definire poliletiche o generaliste, se "almeno il 95% dei granuli pollinici provenienti dalla scopa appartengono a una sola famiglia di piante" (Muller, 1996b) si definiscono oligoletiche, se il polline invece proviene solo da una unica specie si definiscono monolettiche. Queste ultime due categorie sono racchiuse nel termine specialistiche.

Quasi tutte le api eusociali sono poliletiche, sono api attive a lungo durante l'anno per cui specializzarsi non conviene dato che sono poche le piante che fioriscono per un periodo così lungo. Le api solitarie invece avendo un periodo di vita adulta attiva inferiore possono specializzarsi su piante che fioriscono per poche settimane ogni anno.

Ci si potrebbe aspettare che le piante si evolvano in modo da favorire una specializzazione da parte delle api, facendo in modo che l'ape sia così vincolata a trasportare il polline su altre piante della stessa specie e non ne visiti altre. In realtà la specializzazione non è così importante ai fini dell'impollinazione per via di un comportamento delle api definito "floral constancy": durante ogni uscita o anche più d'una, ogni ape tende a bottinare su fiori della stessa specie. Mentre la specializzazione è il risultato di una evoluzione neurale o morfologica che vincola l'ape a quel determinato fiore, la floral constancy è un fattore appreso e può cambiare a seconda delle opportunità o dell'individuo. Concentrarsi su un solo tipo di fiore alla volta permette di bottinare più efficacemente rispetto al visitare più fiori di specie diverse dato che ogni fiore deve essere manipolato in modo diverso. La floral constancy diviene così un fattore importante per l'impollinazione tanto quanto il grado di specializzazione dell'impollinatore.

Sebbene molte api oligoletiche dipendano da particolari fiori, le piante generalmente non dipendono solamente da queste api riproducendosi spesso anche attraverso l'impollinazione ad opera di api poliletiche (Michener, 1979a). I casi di forti coevoluzioni sono rari piuttosto sembra che le api si siano adattate alla struttura dei fiori mentre le piante generalmente non si sono adattate a una particolare specie di api (Michener, 2007). Spesso l'adattamento delle api è comportamentale piuttosto che morfologico; un esempio riguarda i fiori con antere tubulari, adattamento della pianta per proteggere il polline dalla pioggia ma che ne limita l'uscita solo attraverso un foro, ai quali le api si sono adattate riuscendo ad indurre il rilascio del polline in seguito alla vibrazione, così forte da produrre un suono udibile, dei muscoli alari (la cosiddetta buzz-pollination). Non tutte le api comunque ne sono in grado, tra cui anche l'*Apis mellifera* e molte api di piccole dimensioni.

Capitolo 5

Api del genere *Osmia*

5.1 Famiglia Megachilidae

I Megachilidae sono delle api L-T con un labbro rettangolare più lungo che largo (fig. 20), il solco episternale è assente, la placca basitibiale è assente, la scopa si trova sugli sterni del metasoma e non sulle zampe posteriori. Il bozzolo che le larve tessono ha una protuberanza appuntita che non si trova in altre api associata a un'area incompleta del bozzolo che serve a facilitare lo scambio di gas. Le larve sono coperte su gran parte del corpo da una folta peluria e presentano un clipeo circa quattro volte più largo che alto.

I Megachilidae al contrario di molte altre api non rivestono le loro celle con molte secrezioni pur presentano ghiandole di Dufour piuttosto sviluppate. I prodotti ghiandolari sono stati però ritrovati nel cibo delle larve, si può supporre quindi che in questa famiglia il loro uso non sia rivolto al rivestimento delle celle bensì alla nutrizione delle larve.

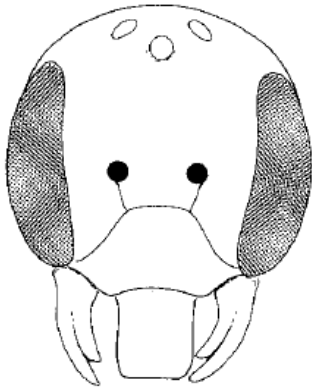


Figura 20 Capo di un maschio di *Chelostoma californicum*

Fig. 20 Capo di un maschio di “*Chelostoma californicum*” Cresson, appartenente ai Megachilidae, da notare il labbro rettangolare (Michener et al., 1994)

5.2 Sottofamiglia Megachilinae

Mandibola della femmina con tre o più denti, pygidial plate assente o rappresentata solo da uno stretto processo, “subantennal suture” che si ricollega sul margine esterno degli alveoli delle antenne (fig. 21). I maschi presentano un S7 ridotto e senza peli.

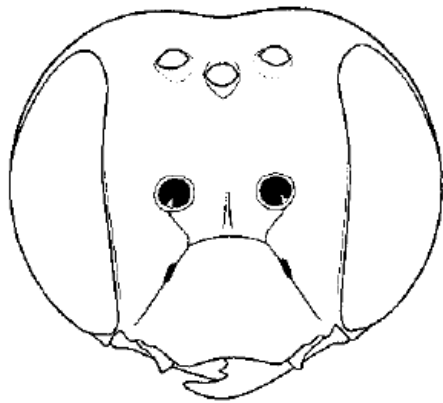


Figura 21 Capo di un maschio di *Anthidium atripes*

Fig. 21 Capo di un maschio di “*Anthidium atripes*” Cresson, appartenente alla sottofamiglia Megachilinae, si notino le “subantennal sutures” che si ricollegano al margine esterno degli alveoli delle antenne (Michener 1944).

I Megachilinae per costruire le celle e i setti usano sempre materiale esterno al nido trasportandolo con le mandibole o stretto tra le zampe, in questo aspetto si differenziano da quasi tutte le altre api tranne le tribù corbiculate degli Apinae che però trasportano il materiale da costruzione sulla scopa delle zampe posteriori. Il materiale può essere fango, argilla, sassolini, resina, pezzi di petali o di foglie, materiale vegetale masticato. I nidi possono essere nel suolo, nel legno, nello stelo di alcune piante, in gusci di lumache morte, a volte possono essere costruiti su superfici come rocce o rami (genere *Dianthidium*). Alcune specie scavano attivamente nel substrato ma la maggior parte sfrutta cavità preesistenti che vengono solo sistemate. Le celle generalmente vengono ben rivestite e i setti sono raramente omessi. Il cibo per la larva viene accumulato sul fondo della cella e l’uovo vi viene deposto sopra.

5.3 Tribù Osminii

Gli Osminii sono presenti in tutto il globo ad eccezione di Sud America e Australia, con maggiore abbondanza nelle regioni a clima mediterraneo. Gli Osminii includono generi sotto certi aspetti piuttosto diversi fra loro ad esempio presentano un torace che può essere sia sferico sia allungato, mostrando che l’evoluzione per certe caratteristiche ha preso più strade diverse; elementi che troviamo in comune a questo livello tassonomico sono la presenza dell’arolio e corpi di colore ottone o blu-verde metallico.

5.4 Genere *Osmia* Panzer

Questo genere è diffuso in tutto il bacino del Mediterraneo, il sud-ovest asiatico e la parte occidentale del Nord America. E’ un genere piuttosto ampio che include api megachiliformi ossia con corpi robusti, testa massiccia, metasoma piuttosto largo. Alcuni sottogeneri come *Allosmia*, hanno forma allungata ma ciò è dovuto a una maggiore lunghezza del metasoma mentre il torace rimane abbastanza corto. Lo scutello, il metanoto e la zona basale del propodeo hanno un andamento decisamente obliquo più che orizzontale. La coxa delle zampe posteriori non presenta carenature. Le “parapsidial lines” sono puntiformi o raramente molto brevi, un quinto della lunghezza della tegula o meno (fig. 22). Altra caratteristica distintiva è l’S2 dei maschi molto largo che copre spesso l’S3 e il margine sfrangiato di S3 che è differente da quello di S4.

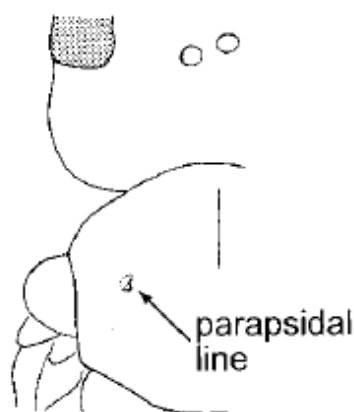


Figura 22 Parapsidal line

Fig. 22 la “parapsidal line” è puntiforme, ci troviamo di fronte a un’ape del genere *Osmia* (Michener et al., 1994)

Le specie appartenenti a questo genere costruiscono i loro nidi in cavità preesistenti e le celle vengono costruite con fango e materiale vegetale anche se tra i vari sottogeneri c’è grande diversità nei luoghi scelti e materiali utilizzati. Una delle caratteristiche dei sottogeneri presenti in Europa è una colorazione non metallica con abbondanti peli rossi o arancioni mentre i sottogeneri americani presentano colorazioni fortemente metalliche.

5.4.1 Sottogenere “*Allosmia*” Tkalcu

Diffusione in Europa centrale e meridionale e Nord Africa, specie di riferimento *Osmia rufohirta* (fig. 22).

Il metasoma è allungato e snello, ricordando una struttura hoplitiforme, ossia simile al megachiliforme ma più sottile. Il corpo presenta colorazione non metallica, con peluria da chiara a rossastra che forma delle fasce sui terga. Caratteristiche che lo fanno appartenere al genere *Osmia* sono il largo S2 e il margine dentellato su S3 e le “parapsidal lines” lineari ma comunque brevi. Il clipeo delle femmine è troncato all’apice e copre la base del labbro superiore. I palpi mascellari sono formati da cinque segmenti. Il T7 presenta un processo appiattito e fortemente sclerotizzato che ricorda la “pygidial plate”.

Lunghezza del corpo tra i 7.5 e 11 mm.

I nidi sono costruiti in gusci di lumache abbandonati (fig. 24) e il materiale usato per le celle sono foglie masticate. In *Osmia rufohirta* i maschi possono variare notevolmente di dimensioni, da più piccoli a più grandi delle femmine.



Figura 23 *Osmia rufohirta*

Fig. 23 femmina di *Osmia rufohirta* a sx, maschio di *Osmia rufohirta* a dx (beewatching.it)



Figura 24 Maschio di *Osmia rufohirta* in attesa davanti a un guscio di lumaca

Fig. 24 Maschio di *Osmia rufohirta* in attesa davanti a un guscio di lumaca (beewatching.it)

5.4.2 Sottogenere “*Erythrosmia*” *Schmiedeknecht*

Diffusione nel bacino del Mediterraneo e Asia centrale, specie di riferimento *Osmia andrenoides*.

La specie di riferimento *Osmia andrenoides* (fig. 25) ha un corpo robusto anche se altre specie di questo sottogenere sono più hoplitiformi e con caratteristiche che ricordano il sottogenere *Allosmia*. Il corpo ha una colorazione non metallica, la pubescenza è di colore chiaro, talvolta rosso, e forma delle fasce non molto delineate sui terga o almeno sui loro lati. Le “parapsidial lines” sono da lineari brevi a puntiformi. Il clipeo nelle femmine è troncato e si sovrappone alla base del labbro superiore. I palpi mascellari presentano quattro segmenti e, se presente, un quinto segmento molto ridotto.

Lunghezza del corpo tra 5.5 e 10 mm.

Anche in questo sottogenere i nidi sono costruiti in gusci di lumache abbandonati e le celle vengono costruite con materiale vegetale, in pratica foglie, masticate.

Alcune caratteristiche già citate e il fatto che i maschi sia di *Allosmia* che di *Erythrosmia* presentino un paio di larghe depressioni alla base di S6, assenti in qualunque altro appartenente al genere *Osmia*, inducono Michener a dichiarare “queste caratteristiche supportano la visione che questi due sottogeneri sono strettamente imparentati e dovrebbero essere probabilmente fusi” (Michener, 2007).



Figura 25 Femmina di *Osmia andrenoides*

Fig. 25 Femmina di *Osmia andrenoides* (beewatching.it)

5.4.3 Sottogenere “*Helicosmia*” Thomson

Diffusione in tutta la parte meridionale dell’emisfero boreale, specie di riferimento *Osmia aurulenta* (fig. 26 beewatching.it).

Il corpo presenta colorazione blu o verde metallico, peli di colore chiaro (tranne a volte quelli della scopa che possono essere di colore nero) che formano spesso delle fasce sull’apice dei terga. Nelle femmine il clipeo è generalmente troncato con un margine inferiore ispessito che sovrasta il labbro e ci sono quattro ciuffi di peli arancioni sotto il margine del clipeo. Le femmine presentano una mandibola robusta la cui larghezza al centro è simile a quella della base.

Lunghezza del corpo abbastanza variabile tra 7.5 a 15 mm.

Nidifica in molti siti diversi, generalmente in cavità nel legno o negli steli, ma può occupare molti tipi di nidi abbandonati da altre api. In particolare *Osmia aurulenta* nidifica nei gusci abbandonati delle lumache.

Altra specie importante appartenente al sottogenere *Helicosmia* è l’*Osmia caerulescens* (fig. 27 beewatching.it), un impollinatore dell’erba medica che nidifica in cavità nel legno e costruisce le celle in serie con setti fatti di materiale fogliare masticato.



Figura 26 Femmina di *Osmia aurulenta*

Fig. 26 Femmina di *Osmia aurulenta* (beewatching.it)



Figura 27 *Osmia caerulea*

Fig. 27 *Osmia caerulea* femmina a sx, maschio a dx (beewatching.it)

5.4.4 Sottogenere “*Osmia*” Panzer

Diffusione in tutto l’emisfero boreale, specie di riferimento *Osmia bicornis* conosciuta anche come *Osmia rufa* (fig. 28 beewatching.it).

Il corpo dotato di peli lunghi è robusto, di colorazione a volte completamente nera ma nella maggior parte dei casi presenta tinte leggermente metalliche che diventano brillanti per alcune specie nord americane. Nelle femmine le parti laterali del clipeo proseguono in avanti formando dei corni e la base del labbro non è nascosta. La faccia anteriore del T1 è zigrinata.

Lunghezza del corpo tra 8.5 e 16 mm.

La nidificazione avviene in cavità preesistenti, spesso nel legno o negli steli, o nei nidi abbandonati di altre api in substrati argillosi. Se la tana è divisa in una serie di celle i setti possono essere fatti di fango (*Osmia bicornis*, *Osmia cornuta* (fig.29 beewatching.it)) o di materiale fogliare masticato (*Osmia ribifloris*, specie nord americana dal colore verde brillante). Alcune specie costruiscono celle con foglie masticate nelle crepe delle pietre.



Figura 28 Femmina di *Osmia bicornis*

Fig. 28 *Osmia bicornis* femmina (beewatching.it)



Figura 29 *Osmia cornuta*

Fig. 29 *Osmia cornuta*, femmina a sx, maschio a dx (beewatching.it)

Capitolo 6

Utilizzo di api come impollinatori

La gestione degli impollinatori consiste di pratiche e situazioni diverse. Nella forma più semplice la gestione degli impollinatori consiste solo nel favorire l'incremento della popolazione degli impollinatori già presenti fornendo siti di nidificazione sicuri e adeguati (es. i giusti substrati) e condizioni migliori per bottinare (presenza di margini fioriti, un ambiente privo di pesticidi etc.). Questo approccio viene utilizzato per alcune specie di Halictidae che nidificano nel suolo. Salendo in forme di intervento e complessità abbiamo la gestione di impollinatori che vengono allevati sulla coltura target e poi tenuti sotto controllo, fornendo cibo se necessario o mantenendoli a temperature specifiche per manipolarne la fenologia. Questo approccio è in genere usato per la gestione delle api da miele, le api tagliafoglie (*Megachile rotundata*) e le api muraiole (varie specie di *Osmia*). Il livello di gestione più complesso è utilizzato per varie specie di *Bombus* che vengono allevati in condizioni di laboratorio per poi essere rilasciati sulla coltura target.

6.1 Popolazioni selvatiche

Il processo di assicurare degli efficaci impollinatori nei campi è difficile da realizzare e per questo c'è un rinnovato interesse nell'aiutare la natura a provvedere essa stessa a fornire gli impollinatori attraverso pratiche che aiutano le specie selvatiche.

Gli impollinatori selvatici per alcune colture contribuiscono maggiormente rispetto all'ape domestica. Le api gestite dall'uomo non sono spesso in grado di compensare la mancanza di impollinatori selvatici, possono essere meno efficaci e non sempre possono essere presenti in numero sufficiente a soddisfare le richieste dell'agricoltura. Gli impollinatori hanno diversi comportamenti, operano in modi e condizioni diversi tra loro, svolgendo attività complementari per una efficace impollinazione. Ad esempio:

-è stato osservato che gli impollinatori selvatici bottinano i fiori dei mandorli più in basso rispetto alle api domestiche, perciò in condizioni di vento forte sono comunque in grado di provvedere all'impollinazione (Brittain et al., 2013a).

-in assenza di certe specie di impollinatori l'impollinazione dei fiori a una certa altezza si riduce, con diminuzione nella produzione (Hoehn et al., 2008).

-su fragola api più grandi impollinano i pistilli alla cima del fiore mentre le api più piccole quelli alla base, con il risultato di frutti ben proporzionati (Chagnon et al., 1993).

Un'elevata diversità (numero di specie) e abbondanza (consistenza della popolazione) degli impollinatori in ambienti con un solo tipo di coltura può aumentare la quantità e la qualità dei prodotti" (IPBES 2016). Questo perché un'elevata diversità di impollinatori vuol dire un aumento della probabilità che in quel momento sia presente tra i vari impollinatori un impollinatore efficace e che nel loro insieme siano in grado di fornire un servizio stabile nel tempo che risponde efficacemente ai cambiamenti e che riesce a garantire una certa sicurezza ai coltivatori. La distribuzione spaziale e temporale diversa di vari impollinatori permette che le risorse floreali possano essere sfruttate efficacemente. E' stato dimostrato che la biodiversità degli impollinatori riesce a diminuire il divario di produzione tra differenti piccole aziende agricole. (Garibaldi et al., 2016).

Generalmente per l'agricoltura a pieno campo la soluzione migliore per far fronte a condizioni imprevedibili è la presenza combinata di api selvatiche e api gestite dall'uomo.

Comunque anche tra gli impollinatori selvatici ci sono specie predominanti: "circa l'80% dell'impollinazione globale è attribuibile all'attività di circa il 2% delle specie di api selvatiche" (IPBES 2016).

Varie tipologie di gestione possono influire sulle popolazioni di impollinatori selvatici, faremo riferimento soprattutto a popolazioni selvatiche di *Osmia bicornis*. (Gruber et al., 2011)

Fornendo un aiuto con strutture artificiali che simulano i siti di nidificazione (che abbrevieremo con solo "strutture") è stato possibile incrementare i nidi da 3,630 in 341 strutture a 29,289 nidi in 434 strutture. Non è comunque legittimo escludere dall'equazione l'influenza esercitata da fattori su cui non si può avere il controllo come le condizioni meteorologiche ma la grandezza dell'incremento dimostra che in natura i siti di nidificazione sono un elemento limitante. L'efficacia di questa pratica è già stata dimostrata da altri studiosi (Steffan-Dewenter and Schiele 2008) ma in Gruber (Gruber et al., 2011) si annoverano tra i fattori che contribuiscono all'incremento della popolazione anche l'azione dell'uomo (in questo caso degli studiosi) che andando a verificare i nidi costruiti e mantenendo solo i bozzoli sani e scartando i bozzoli infestati da parassiti o deformi, ha favorito così un'azione di controllo che altrimenti non ci sarebbe stata sulla popolazione dei parassiti; in più le strutture non essendo già occupate dai parassiti che occupano le cavità naturali ne hanno diminuito i danni.

Come accennato prima se i "bee-hotels" vengono utilizzati per favorire le popolazioni locali, in questo caso *Osmia bicornis*, possono essere dei validi aiuti per la conservazione degli impollinatori.

I frutteti forniscono grandi quantità di polline ma per un periodo limitato, il successo riproduttivo, ossia il numero di celle costruite, è maggiore se nelle zone vicine sono presenti altre fonti di polline (entro i 600m). La disponibilità di cibo è in correlazione positiva con la presenza e la diffusione degli impollinatori nell'ambiente, come dimostrato per *Osmia lignaria* (Williams and Kremen 2007). Fornire ulteriori fonti di cibo oltre alla coltura principale aumenta anche il numero di api selvatiche attratte verso il nostro campo e favorisce la loro permanenza.

Riguardo la disposizione delle strutture nel campo la posizione rispetto al frutteto è importante con una preferenza da parte delle api a occupare i margini del campo piuttosto che il centro, con un maggior numero di tubi occupati nelle strutture ai margini rispetto a quelle piazzate nel frutteto. In più se piazzate lungo i margini le strutture attraggono altre api selvatiche delle zone limitrofe a fermarsi e nidificare in quel luogo aumentando così il numero di impollinatori disponibili per il nostro frutteto.

(Se non parliamo di come favorire la permanenza degli impollinatori ma di rilascio in campo di api mirato all'impollinazione ci troveremo nella situazione inversa in cui dovremo rilasciare le api al centro del frutteto poiché appunto la densità di impollinatori al centro del frutteto è molto minore rispetto ai margini).

Agro-ecosistemi caratterizzati da piante ad impollinazione animale creano una situazione in cui c'è una forte richiesta di impollinatori in un periodo di fioritura relativamente breve, questo

è specialmente vero in aree in cui si praticano monocolture intensive (James and Pitts-Singer, 2008). La mancanza di altre specie vegetali che fioriscono prima o dopo la fioritura della coltura principale e altri fattori a cui abbiamo già accennato rendono necessaria l'introduzione di popolazioni di impollinatori gestiti dall'uomo se non è possibile proteggere o incrementare le popolazioni selvatiche.

Capitolo 7

Osmia come impollinatore gestito dall'uomo

7.1 Perché usare *Osmia*?

Le api da miele sono degli impollinatori incredibilmente versatili ed includono tra le piante che visitano un numero incomparabile rispetto a molte altre api. Ma anche loro hanno dei limiti, per esempio non sono capaci di impollinare quelle piante che richiedono la cosiddetta buzz-pollination (es. Solanaceae o il mirtillo) o non sono gli impollinatori più efficaci di alcune piante, in più non sono pratiche da sfruttare in ambienti come le serre dove si disorienterebbero e potrebbero aggredire i lavoratori. Altre specie di api sono state allora allevate e commercializzate come specie complementari o alternative alle api da miele. Tra queste api ci sono molte specie del genere *Osmia*, comunemente chiamate api muraiole (“mason bees”), utilizzate soprattutto per alberi da frutto della famiglia delle Rosaceae. Le *Osmia* presentano numerose qualità: sono api poliletiche che includono nella loro alimentazione polline da 9 a 20 famiglie di piante (Mitchell, 1962), in più nonostante l'ampio range mostrano spesso quel comportamento che avevamo chiamato “floral constancy” visitando dunque la stessa specie, favorendone l'impollinazione, a patto che queste fonti di polline si trovino in abbondanza vicino al sito di nidificazione (Westrich, 1989) il che le rende eccellenti come impollinatrici dei frutteti commerciali. Il loro modo di nidificare in aggregazioni e la capacità di accettare per costruire il nido una gran varietà di materiale fornito dall'uomo rendono attuabile l'allevamento in massa (Torchio, 1976). Le quattro specie più di successo sono: *Osmia cornifrons*, nativa dell'Asia orientale, utilizzata come impollinatrice del melo in Giappone sin dal 1940 (Kitamura, 1969) e che al giorno d'oggi provvede all'impollinazione del 75% dei meleti del Giappone (Bosch e Kemp 2001); *Osmia lignaria*, nativa del Nord America, utilizzata per melo, mandorlo e ciliegio; *Osmia cornuta*, nativa dell'Europa, utilizzata soprattutto in Spagna sul mandorlo; *Osmia bicornis* (nota anche come *Osmia rufa*), nativa dell'Europa, utilizzata su vari alberi da frutto e colture come la fragola (*Fragaria* spp) e colza (*Brassica napus*).

Le *Osmia* sono eccellenti impollinatrici degli alberi da frutto e sotto certi aspetti possono essere superiori alle api da miele: entrano in contatto con gli stigmi dei fiori teoricamente ad ogni visita (Bosch and Blas, 1994b); sono molto efficienti visitando un gran numero di fiori nell'unità di tempo (Calzoni and Speranza, 1998) ; cambiano alberi e filari all'interno del frutteto senza problemi durante i viaggi di foraggiamento, cosa fondamentale perché molte cultivar di alberi da frutto sono auto-incompatibili e richiedono impollinazione incrociata con il polline di un'altra cultivar (Free, 1993); il loro raggio di volo limitato (Hermann, 2010) aumenta la probabilità che restino nell'area del frutteto; rimangono attive e bottinano a temperature più basse e in condizioni meteorologiche meno favorevoli, perciò anche per più tempo al giorno, rispetto alle api da miele (Vicens and Bosch, 2000c) e le api *Osmia* sono tra quelle che emergono prima di tutte in primavera (Westrich, 1989), questi due elementi le

rendono particolarmente adatte per quelle specie di fruttiferi che fioriscono molto presto nell'anno come mandorlo e ciliegio. I frutteti impollinati da *Osmia* riescono a produrre così molto bene negli anni favorevoli e forniscono comunque un certo grado di produzione in anni in cui se si dipendesse solo dalle api da miele non ci sarebbe produzione alcuna (Bosch and Kemp 1999).

7.2 Gestione delle api *Osmia*

La riproduzione e la moltiplicazione delle api *Osmia* in campo sono influenzate da fattori abiotici e biotici. In condizioni ottimali in un ambiente protetto come una serra una femmina di *Osmia* può arrivare a produrre una discendenza di 30 individui durante una stagione di volo di 4 settimane (Torchio et al., 1987), risultati poco verosimili in situazioni di pieno campo che possono non solo abbassare notevolmente il tasso di riproduzione ma addirittura impedire un incremento della popolazione. Anche se come avevamo già detto le api del genere *Osmia* riescono ad operare in condizioni meno favorevoli rispetto alle api da miele, comunque temperature sotto una certa soglia e condizioni di vento o pioggia particolarmente forti possono interrompere le attività delle femmine di *Osmia* per giorni (C. Sedivy, osservazione personale).

Un fattore biotico invece che influenza il tasso di riproduzione e di crescita della popolazione è la grandezza, e conseguentemente il peso corporeo, delle femmine. “Femmine più grandi sopravvivono più facilmente all'inverno, è più probabile che nidifichino, bottinano più efficientemente, depongono più uova e vivono più a lungo” (Seidelmann et al., 2010). Femmine grandi depongono meno uova di sesso maschile e soprattutto generano femmine più grandi (Bosch and Vicens, 2006) permettendo il proseguimento di questo trend virtuoso. L'ereditabilità delle dimensioni è minima, rendendo del tutto inutile un tentativo di allevamento selettivo (Tepedino et al., 1984), le dimensioni della femmina invece dipendono in massima parte dalla quantità e qualità del polline con cui la madre ha rifornito le loro celle (Bosch and Vicens, 2006) fattori che a loro volta dipendono dalle condizioni dell'habitat la stagione precedente.

Buone pratiche di gestione dunque possono influire in modo positivo sul tasso di riproduzione e crescita della popolazione. In natura la sex ratio propende verso il genere maschile ma visto che solo le femmine, attraverso la raccolta del polline per nutrire la prole, contribuiscono sostanzialmente all'impollinazione rispetto ai maschi che hanno un ruolo da impollinatori molto minore dato che non effettuano alcun volo di rifornimento (Bosch and Blas, 1994), una buona gestione deve cercare di invertire questa proporzione a favore della prole femminile. Visto che generare maschi è meno costoso dal punto di vista energetico, avremo più prole maschile in condizioni sfavorevoli e diventa così compito del gestore cercare di fornire condizioni più favorevoli per indurre la madre a generare le più dispendiose femmine. La probabilità di deporre un uovo di sesso femminile aumenta se: la madre è giovane (Torchio and Tepedino, 1980); è grande (Steffan-Dewenter and Schiele, 2004); ci sono abbondanti fonti di polline e nettare (Tepedino and Torchio, 1982a); le femmine si accoppiano con successo (Sampson et al., 2009). L'accoppiamento delle femmine è un importante elemento in quanto se questo non avviene avranno meno probabilità di nidificare o cercheranno di usurpare un nido altrui e soprattutto genereranno solo prole maschile, è buona pratica quindi fornire un numero sufficiente di maschi.

7.2.1 Gestione dei nidi

Le strutture per accogliere i nidi possono essere fatte di diversi materiali, generalmente consistono in blocchi di legno o di polistirolo forati con cannuce di carta inserite nei fori oppure in fasci di canne o di bambù. I blocchi di legno forati sembrano essere i preferiti delle femmine di *Osmia* (Torchio, 1981a) e il legno viene preferito rispetto al polistirolo anche se si prova a camuffare quest'ultimo con un tavolo di legno forata a copertura (Torchio, 1982b). L'*Osmia bicornis* preferisce nidificare nelle canne rispetto al legno forato (Wilkaniec and Giejdasz, 2003) anche se le canne sono meno adatte a garantire lo sviluppo e la sopravvivenza nella stagione invernale, perciò l'attrattività di un materiale deve essere sempre bilanciata con la capacità di garantire lo sviluppo fino allo stadio adulto.

Le femmine di *Osmia* tendono a preferire il loro nido natale rispetto a nuovi siti (Torchio, 1981b), riutilizzare lo stesso nido aumenta il rischio di diffusione di parassiti e malattie, ma se il nuovo materiale fornito è più attrattivo rispetto al nido natale vengono scelte le nuove cavità (Bosch, 1994b). Le api *Osmia* nidificano in aggregazioni e sono spinte a occupare cavità vicino a quelle già occupate da conspecifici (Krunic et al., 2001). Questo meccanismo può essere sfruttato per favorire la permanenza nei siti prescelti: si porta una decina di giorni prima della fioritura e del rilascio in massa un piccolo numero di api (naturalmente devono esserci altre fonti di polline nelle vicinanze) di cui alcune nidificheranno nei siti prestabiliti così da aumentarne l'attrattività per le api che verranno rilasciate successivamente.

Oltre al materiale sono importanti diametro e lunghezza della cavità (Bosch and Kemp, 2001). Cavità più lunghe e larghe sono collegate a: una percentuale maggiore di femmine, minore mortalità della prole, più uova per nido (Maeta, 1978). L'andamento non è lineare: se le cavità sono troppo ampie perdono di attrattività (Maddocks and Paulus, 1987). Schematicamente i risultati di Bosch (1994a) di come il diametro influisce sulla scelta del sito, sulla sex ratio e sulla mortalità a parità di lunghezza di 15 centimetri:

- Diametro 7mm: 15% femmine, mortalità 34%, occupazione 48%.
- Diametro 8mm: 29% femmine, mortalità 26%, occupazione 53%.
- Diametro 9mm: 37% femmine, mortalità 20%, occupazione 23%.

Riguardo la lunghezza, cavità di 15 centimetri o più sono correlate a una percentuale maggiore di femmine rispetto a cavità minori di 15 cm (Gruber et al., 2011). C'è una significativa correlazione tra la lunghezza e la sex ratio (ossia la proporzione di maschi e femmine delle uova deposte) anche se l'andamento non è lineare: oltre una certa lunghezza la relazione non vale più. Questo può essere spiegato da "cambi dell'investimento materno verso prole maschile dovuti a un maggiore rischio di parassitismo causato da una lunghezza ridotta del tubo" (Gruber et al., 2011) in linea con quanto affermato da Seidelmann (Seidelmann et al., 2010). I maschi essendo più piccoli delle femmine richiedono minori risorse per essere allevati perciò le uova maschili (oltre al fatto che si sviluppano prima) vengono deposte nelle celle che più facilmente potrebbero venire depredate ossia quelle più vicine all'entrata. Se una femmina adulta nidifica in un tubo corto in cui il rischio di predazione o parassitismo è elevato anche per le celle verso il fondo del tubo allora deporrà più maschi che femmine per bilanciare i costi energetici del produrre prole con i rischi che questa prole corre.

Tra dimensioni e materiale risulta più importante l'attrattività del materiale a cui corrisponde a parità di condizioni una maggiore quantità di prole femminile (Torchio, 1982a).

7.2.1 Scelta della posizione

Per massimizzare la durata giornaliera dell'attività delle api i nidi devono essere orientati in direzione est o sud-est (Bosch and Kemp, 2001) e non devono essere ombreggiati al mattino (Torchio, 1982a) poiché l'ombreggiatura comporta una minore temperatura ambientale causando un ritardo nell'inizio dei voli e quindi meno celle costruite per giorno (Torchio, 1981b). Le strutture devono essere riparate da vento e pioggia e durante le ore più calde della giornata dalla luce diretta del sole. Devono essere sopraelevate rispetto il suolo per proteggerle dall'umidità e dalle formiche (Bosch and Kemp, 2001). Per costruire i setti delle celle le api *Osmia* usano del terreno fangoso, se non c'è nelle vicinanze un luogo da cui prelevarlo è necessario procurarne uno artificiale e mantenerlo umido (Bosch and Kemp 2001).

7.2.2 Distribuzione dei rifugi

Dopo il rilascio in massa molte api tendono a disperdersi e a nidificare altrove, per favorire la permanenza e prevenire la "deriva dei nidi" è consigliabile distribuire uniformemente all'interno del frutteto un numero maggiore di nidi più piccoli. Il risultato è un maggiore tasso di permanenza (Torchio, 1984a) e un'impollinazione più uniforme (Yamada et al., 1971). Considerando che il raggio d'azione dell'*Osmia* è molto minore rispetto alle api da miele (Hermann, 2008) specialmente se le fonti di polline e nettare sono abbondanti come accade nei frutteti, intorno ai 50-150 metri (Hermann, 2010), si consiglia di posizionare i rifugi circa ogni 50-100 metri (Krunic and Stanisavljevic, 2006).

7.2.3 Spostare strutture già occupate

Quando una femmina ha deciso dove nidificare e ha iniziato a costruire il nido e a rifornirlo di cibo diventa fortemente legata sia al luogo che ai punti di riferimento circostanti, per questo una struttura contenente nidi attivamente visitati non dovrebbe essere spostata perché le femmine sono molto sensibili e quando disturbate tendono ad abbandonare il nido (Bosch and Kemp 2001). In più gli scossoni causati dal trasporto potrebbero causare il distacco dalla massa pollinica di uova e larve e causarne la morte (Kornmilch, 2010).

In alcune circostanze lo spostamento dei rifugi contenenti i nidi si rende necessario, ad esempio per evitare l'esposizione ai pesticidi durante la loro applicazione o per fornire altre fonti di cibo se la fioritura è finita precocemente.

Si può:

- Spostare i rifugi e reinstallarli nella stessa posizione dopo i trattamenti di pesticidi. I rifugi vengono spostati durante la notte (le femmine dormono all'interno del nido mentre lo costruiscono) e immagazzinati in una camera refrigerata per quattro giorni per poi essere reinstallati. Questa procedura imita i periodi di freddo che possono accadere naturalmente durante la stagione e che le femmine passano all'interno del nido. Si riesce ad avere un 10-30% di abbandono dei nidi (Vicens and Bosch, 2000a).
- Spostare i rifugi in un nuovo posto per fornire nuove fonti di polline e nettare. Dopo una notte in camera refrigerata si possono spostare da un frutteto a un altro dello stesso tipo con un 30-65% di abbandoni. Se lo spostamento è da un sistema colturale a un altro (per esempio da un meleto a un campo di colza) anche se il cibo è abbondante si riscontra fino a un 90% di abbandoni, probabilmente dovuto alla mancanza di indizi visivi rispetto al sito originale (Maccagnani et al., 2007).

Il tasso di abbandoni dipende molto dalla specie di *Osmia* e dalla tipologia dei rifugi. Femmine di *Osmia lignaria* non riuscivano a ritrovare il loro piccolo rifugio anche se veniva spostato

da un lato all'altro di un albero e al contempo se i rifugi erano installati su grandi strutture come rimorchi dopo uno spostamento il tasso di abbandoni poteva arrivare anche a solo il 13% (Torchio, 1991b), poiché riescono ad utilizzare il rimorchio come punto di riferimento per orientarsi e ritrovare il nido.

7.2.4 Metodi di rilascio

I metodi di rilascio delle *Osmia* sono in genere due: o possono essere posizionati i nidi da cui emergeranno le api o possono essere rilasciate in massa al momento opportuno.

Il vantaggio di posizionare direttamente i nidi è che sappiamo che le api che emergono dal loro nido natale tendono a rioccuparlo o a rimanere comunque nelle vicinanze per circa il 60-75% dei casi (Torchio, 1982a) diminuendo la deriva degli impollinatori nel periodo di pre-nidificazione. Il riutilizzo dei nidi però non permette un buon controllo sui parassiti e sulla diffusione delle malattie che in queste condizioni di elevata densità di popolazione prosperano e causano danni ingenti (Bosch, 1992).

Per il rilascio in massa vengono raccolti i bozzoli dai nidi e ciò consente il controllo e l'eliminazione di quelli deformi o parassitizzati, inoltre possono essere più facilmente ed economicamente immagazzinati e commercializzati. Il rilascio in massa però è caratterizzato da una deriva nel periodo di pre-nidificazione maggiore rispetto al primo metodo e solitamente superiore al 50% quando le api vengono rilasciate già come adulti emersi (Torchio, 1982a) probabilmente perché non sentono alcun legame con il luogo in cui vengono rilasciate (C. Sedivy, osservazione personale). Un modo per prevenire questo elevato tasso di deriva consiste nel prendere i bozzoli precedentemente raccolti ed esaminati e inserirli individualmente sul fondo di nuovi nidi (Monzon et al., 2004) cercando di imitare quindi l'emersione dal nido natale. Sebbene sia più costoso, questo metodo permette in *Osmia cornuta* (Bosch, 1994a) una deriva di circa il 20%.

7.2.5 Densità ottimale

A seconda della coltura (melo, ciliegio etc.) e della dimensione delle piante (quindi il numero di fiori per pianta) sono sufficienti per una impollinazione ottimale 350-750 femmine attive per ettaro (Matea and Kitamura, 1974). Diviene importante gestire in modo corretto la densità di popolazione in quanto una popolazione insufficiente non può garantire una adeguata impollinazione ma allo stesso tempo la sovrappopolazione può causare molti problemi. Densità troppo elevate incrementano il tasso di deriva e portano a una innecessaria e deleteria competizione per polline e nettare che può dare inizio a una reazione a catena che influenza la crescita della popolazione degli impollinatori (Torchio, 1985). In risposta alla carenza di risorse alimentari, le femmine adulte riforniscono le celle della covata con meno cibo e depongono soprattutto uova maschili (come già accennato allevare un maschio richiede meno energie) e le poche femmine generate saranno più piccole e avranno un maggiore tasso di mortalità (Torchio and Tepedino, 1980). Una carenza di nettare aumenta le probabilità che le uova non si ancorino saldamente alla massa di cibo causando la morte delle uova prima che si schiudano, rende il cibo più secco e le larve appena nate è probabile che non riescano a ingerirlo. “L'insieme di questi effetti negativi causati da un solo fattore (il rilascio di troppe api nel frutteto) è un esempio formidabile delle complesse e spesso controintuitive reazioni causate da una cattiva gestione delle popolazioni di *Osmia*” (Sedivy and Dorn 2014).

7.2.6 Protezione da antagonisti

Numerosi agenti minacciano la moltiplicazione delle *Osmia* commercializzate e richiedono diverse strategie di controllo:

-cleptoparassiti: si nutrono delle provviste di cibo delle larve, in tal modo uccidendole. Utilizzare materiale sanificato è la prima strategia di controllo, la raccolta e il controllo dei bozzoli a fine estate invece permette la rimozione di tali parassiti e ne impedisce la proliferazione nella stagione successiva.

-parassitoidi come vespe Chalcidoidea: difficili da individuare perché le loro larve si sviluppano nel bozzolo insieme all'ape. Si possono ridurre significativamente uccidendone gli adulti con trappole a ultravioletti.

-funghi del genere *Ascospaera* responsabili della "covata calcificata": uccidono le larve che alla fine appaiono dure e compatte. Le larve infette vanno eliminate e il materiale sanificato per prevenire la reinfestazione da parte delle spore

- uccelli e roditori: depremono i nidi. Si piazza di fronte all'entrata dei nidi della rete per polli. Per le formiche si ricorre a barriere adesive.

7.2.7 Gestione delle fonti di cibo alternative

Tra le buone pratiche per sincronizzare l'attività delle api e la fioritura del nostro frutteto c'è la gestione delle fonti di cibo alternative. Possono essere piantate all'interno del frutteto piante che fioriscono prima di esso in modo che le femmine di *Osmia* si insedino prima e siano in piena attività di raccolta e al picco della loro efficienza quando il frutteto fiorisce, favorendo l'impollinazione dei primi fiori che sono anche i più importanti (king blossom nel melo), questo metodo permette anche una maggiore flessibilità nella scelta delle tempistiche del rilascio. Quando inizia la fioritura del frutteto queste fonti alternative in genere non competono con i più abbondanti e spesso preferiti alberi da frutto (Bosch and Kemp, 2001). Le piante usate come alternativa e momentanea fonte di cibo devono rispondere a determinate caratteristiche: devono fiorire almeno una settimana prima del frutteto; devono essere vicine ai siti di nidificazione; devono essere abbastanza interessanti per l'*Osmia* da favorirne l'insediamento; non devono interferire negativamente con la coltura principale; la loro gestione deve essere facile ed economica. Nell'ottica della gestione dell'*Osmia bicornis* questo ruolo può essere ricoperto da alcune specie di Brassicaceae come *B. napus* (Maccagnani et al., 2007). Questa pratica si rende meno necessaria se nelle vicinanze ci sono margini fioriti o altri frutteti che fioriscono prima.

Fornire fonti di cibo anche dopo la fioritura principale è un'altra pratica dai risvolti positivi: fonti di polline e nettare che durano più a lungo della fioritura principale permettono l'allevamento di un maggior numero di individui per femmina adulta e anche se le femmine alla fine della loro stagione di volo sono meno feconde e generano più maschi (Seidemann et al., 2010) questi costituiranno un incremento netto nella popolazione dell'anno successivo non a scapito della quantità di covata femminile. Anzi, come accennato in precedenza, è assolutamente necessaria una certa quantità di maschi in modo che tutte le femmine dell'anno successivo possano essere fecondate.

La gestione delle fonti di cibo alternative quindi può incrementare il tasso di impollinazione e il tasso di crescita della popolazione degli impollinatori.

7.2.8 Ottimizzare la performance e il sincronismo tra l'emergenza e la fioritura

Sincronizzare l'emergenza degli adulti con la fioritura del nostro frutteto è fondamentale per ottimizzare l'impollinazione e la crescita della popolazione degli impollinatori. Se le api emergono prima della fioritura in molte lasceranno il frutteto alla ricerca di cibo, se emergono dopo non verranno impollinati i primi fiori che sono anche i più importanti (king blossom nel

melo) (Bosch and Kemp, 2001) e il periodo disponibile per la raccolta del cibo sarà ancora più breve, andando a scapito della quantità di prole allevata.

La condizione ideale è l'emergenza delle femmine in contemporanea con la prima fioritura nel frutteto (Bosch e Kemp 2001). Lo sviluppo dell'ape, da uovo ad adulto, consta di diverse fasi che possono essere in un certo qual modo controllate e manipolate al fine di ottenere le tempistiche desiderate.

7.3 Ciclo vitale *Osmia*

Per una descrizione generale del ciclo vitale delle api del genere *Osmia* possiamo prendere come modello i sottogeneri *Osmia* e *Melanosmia*, che sono univoltini e passano l'inverno come adulti nel bozzolo, al contrario di molte altre api solitarie univoltine che svernano come prepupe e completano lo sviluppo in primavera (Westrich, 1989). Molte specie del sottogenere *Helicosmia* sono semivoltine (ossia impiegano due anni per svilupparsi completamente), passano il primo inverno come prepupa e il secondo come adulti ma le api del genere *Osmia* più utilizzate dall'uomo sono comunque tutte strettamente univoltine.

Osmia completa il ciclo da uovo ad adulto sviluppato prima dell'inverno e ciò può essere associato alla tendenza della maggior parte delle api del genere *Osmia* a volare molto presto nell'anno, per questo motivo vengono spesso utilizzate per impollinare le colture a fioritura primaverile.

Le fasi del ciclo vitale annuale delle api *Osmia* sono (fig. 30):

- Sviluppo della larva: periodo dalla schiusa dell'uovo alla filatura del bozzolo.
- Filatura del bozzolo: la larva smette di alimentarsi e fila un bozzolo duro e opaco entrando nello stadio di prepupa.
- Prepupa: periodo di diapausa estiva.
- Pupa: dopo lo stadio di prepupa si entra nello stadio di pupa.
- "Adult eclosion": abbiamo lo stadio di adulto sviluppato che esce dalla pupa ma che in *Osmia* rimane all'interno del bozzolo.
- Pre-invernamento: uno stadio particolarmente delicato tra uscita dalla pupa e l'invernamento.
- Invernamento: uno stadio di quiescenza in cui entrano le api (che sono rimaste nei bozzoli) esposte a basse temperature.
- Incubazione: il processo per terminare lo stadio di invernamento attraverso l'esposizione a temperature più alte, seguito dall'emersione degli adulti fuori dal bozzolo.
- "Emergence": le api lasciano il nido.
- Accoppiamento: gli adulti dopo aver abbandonato il nido vanno alla ricerca di un partner e si accoppiano.
- Pre-nidificazione: in questo breve periodo maturano gli ovari delle femmine.
- Nidificazione: le femmine costruiscono il nido e depongono le uova e il cibo nelle celle e il ciclo ricomincia.

E' utile anche definire "pre-emerging time" come periodo dall'inizio dell'incubazione all'emergenza della prima ape ed "emerging period" come lasso di tempo per l'emergenza dalla prima all'ultima ape dopo l'incubazione. Possono esserci significative differenze nelle tempistiche tra varie specie, per esempio in climi più miti l'attività degli adulti, i voli e la nidificazione, iniziano già a Febbraio mentre in regioni più fredde ad Aprile-Maggio.

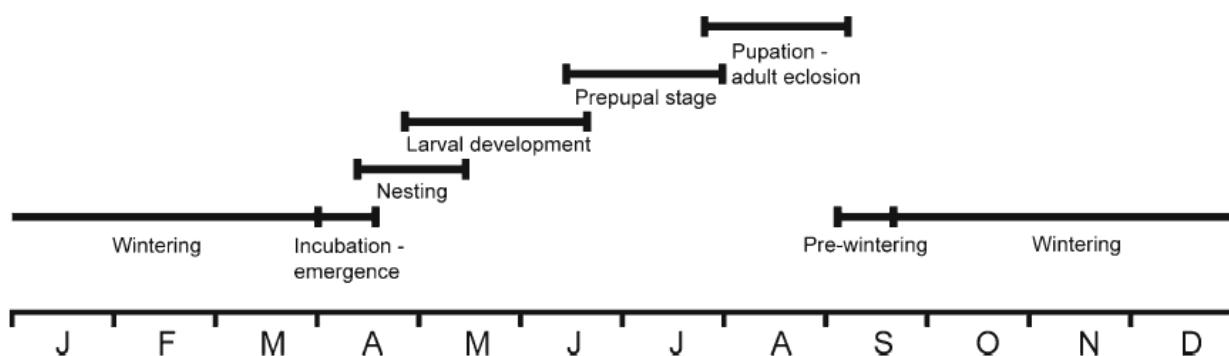


Figura 30 Ciclo vitale *Osmia*

Fig. 30 Schematizzazione del ciclo vitale annuale di un'ape *Osmia*, i mesi vanno da Gennaio a Dicembre, mancano evidenziate le fasi di pre-nidificazione e accoppiamento che sono contemporanee al periodo "incubation-emergence" (foto da Sedivy and Dorn, 2013 basata e modificata da Bosch and Kemp 2001)

7.3.1 Gestione del ciclo vitale

L'elemento determinante nel regolare la durata del processo di sviluppo è il regime termico.

Ogni fase ha delle caratteristiche da tenere in considerazione nell'ottica di una gestione ragionata degli impollinatori:

- Stadio di prepupa: è lo stadio con la minore suscettibilità alle alte temperature (Radmacher and Strohm, 2011). La sua durata varia notevolmente tra popolazioni di diverse regioni climatiche anche se allevate nelle stesse condizioni (Sgolastra et al., 2012). La durata della diapausa estiva della prepupa è un meccanismo adattivo per sincronizzare l'eclosione dell'adulto con l'inizio dell'invernamento per evitare gli effetti negativi di un pre-invernamento troppo lungo o corto. A prescindere dalla durata della diapausa estiva è fondamentale che l'eclosione dell'adulto avvenga prima dell'invernamento poiché le api che svernano come pupe non diventano adulti sani (Bosch, 1994a).
- Pre-invernamento: è la fase più delicata. Se troppo lunga per via delle alte temperature si rischia che le riserve di grasso corporeo dell'ape si esauriscano a scapito della loro salute, se è troppo corta l'ape non ha tempo a sufficienza per diminuire gradualmente il ritmo metabolico per prepararsi all'inverno (Bosch et al., 2010). Si consiglia di mettere in camera refrigerata i bozzoli solo dopo 2-4 settimane dall'eclosione della prima ape.
- Invernamento: la durata dell'invernamento e il suo regime termico influenzano il pre-emerging time e l'emerging period. Individui che non hanno subito un periodo di invernamento non emergeranno a prescindere dalle condizioni di incubazione, mentre individui che hanno passato un lungo invernamento o un invernamento a temperature miti emergeranno a temperature più basse (soprattutto i maschi) senza passare per un periodo di incubazione. Questo facilita la gestione delle tempistiche per il rilascio al momento della fioritura ma bisogna considerare anche che temperature miti

durante l'invernamento aumentano il tasso di mortalità e il rischio di una prematura "emergence" dei maschi.

- Incubazione: in natura le api escono dal nido in primavera in risposta all'aumento delle temperature, ma per controllare al meglio questa fase si può ricorrere a incubatori artificiali. In genere la sua durata decresce con l'aumento della temperatura, in un range da 15 a 30 gradi con un optimum a 20-25 gradi. I maschi in genere emergono prima delle femmine di 2-4 giorni e hanno bisogno di temperature minori rispetto alle femmine per superare la soglia termica che induce lo stimolo ad emergere, 12-15 gradi invece di 20. Incubare per un breve periodo di tempo non sortisce alcun effetto (Bosch e Blas 1994 a), è attuabile solo se il pre-emerging time supera i 2 giorni. Un altro vantaggio dell'incubazione artificiale è favorire l'emergence delle api se le temperature ambientali sono troppo basse per indurlo naturalmente ma sufficienti per lo sviluppo dei fiori in modo da non desincronizzare i due eventi.

Conclusioni

Il meraviglioso mondo delle api è anche un mondo complesso, parte di un delicato equilibrio da cui dipendiamo anche noi umani. Si parla sempre più di api e della loro importanza e nello sforzo di comunicarlo a tutti si cerca di semplificarne le dinamiche, ma come sempre ad ogni semplificazione si perde parte dell'informazione e si rischia di commettere errori o di agire per tifo e non con ragione. E' un mondo come già detto complesso e ogni azione per preservarlo deve riuscire a tenere in conto tutte le variabili per non cadere nell'ingenuità.

Bibliografia

“The importance of bees and other pollinators for food and agriculture 20 May” FAO 2018
<https://www.fao.org/3/i9527en/i9527en.pdf>

2021-03-30 Webinar “Le altre api. Guida pratica alla scoperta degli apoidei” – Elisa Monterastelli. <https://www.youtube.com/watch?v=zu2MGLueRlc&t=15s>

Aizen MA, Garibaldi LA, Cunningham SA, Klein AM. 2008. Long-term global trends in crop yield and production reveal no current pollination shortage but increasing pollinator dependency. *Current Biology* 18: 1572–1575.

Alexandra-Maria Klein, Virginie Boreux, Felix Fornoff, Anne-Christine Mupepele, Gesine Pufal, Relevance of wild and managed bees for human well-being, *Current Opinion in Insect Science*, Volume 26, 2018, Pages 2-88, ISSN 2214-5745, <https://doi.org/10.1016/j.cois.2018.02.011>.

Bartomeus, I., J.S. Ascher, D. Wagner, B.N. Danforth, S. Colla, S. Kornbluth, and R. Winfree. 2011. Climate-associated phenological advances in bee pollinators and bee-pollinated plants. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 108(51), 20645-20649.

Battin, J. 2004. When good animals love bad habitats: Ecological traps and the conservation of animal populations. *Conservation Biology*, 18(6), 1482-1491.

Boggs, C.L. and D.W. Inouye. 2012. A single climate driver has direct and indirect effects on insect population dynamics. *Ecology Letters*, 15(5), 502-508.

Bonciarelli F., *Agronomia, Edagricole*, 1981, Bologna.

Bosca Giovanni, *Guida pratica di apicoltura con agenda dei lavori*, sesta edizione 2014, Il Castello Collane Tecniche Milano

Bosch, J. (1992) Parasitism in wild and managed populations of the almond pollinator *Osmia cornuta* Latr (Hymenoptera, Megachilidae). *J. Apic. Res.* 31(2), 77–82.

Bosch, J. (1994a) Improvement of field management of *Osmia cornuta* (Latreille) (Hymenoptera, Megachilidae) to pollinate almond. *Apidologie* 25(1), 71–83.

Bosch, J. (1994b) *Osmia cornuta* Latr (Hym, Megachilidae) as a potential pollinator in almond orchards—releasing methods and nest–hole length. *J. Appl. Entomol.* 117(2), 151–157.

Bosch, J. and W.P. Kemp. 2002. Developing and establishing bee species as crop pollinators: the example of *Osmia* spp. (Hymenoptera: Megachilidae) and fruit trees. *Bulletin of Entomological Research*, 92, 3-16.

Bosch, J., Blas, M. (1994) Foraging behavior and pollinating efficiency of *Osmia cornuta* and *Apis mellifera* on almond (Hymenoptera, Megachilidae and Apidae). *Appl. Entomol. Zoolog.* 29, 1–9.

Bosch, J., Blas, M. (1994a) Effect of over-wintering and incubation temperatures on adult emergence in *Osmia cornuta* Latr (Hymenoptera, Megachilidae). *Apidologie* 25(3), 265–277.

- Bosch, J., Blas, M. (1994b) Foraging behavior and pollinating efficiency of *Osmia cornuta* and *Apis mellifera* on almond (Hymenoptera, Megachilidae and Apidae). *Appl. Entomol. Zool.* 29(1), 1–9.
- Bosch, J., Kemp, W.P. (1999) Exceptional cherry production in an orchard pollinated with blue orchard bees. *Bee World* 80(4), 163–173.
- Bosch, J., Kemp, W.P. (2001) How to manage the blue orchard bee, *Osmia lignaria*, as an orchard pollinator. Sustainable Agriculture Network, Washington DC
- Bosch, J., Sgolastra, F., Kemp, W.P. (2010) Timing of eclosion affects diapause development, fat body consumption and longevity in *Osmia lignaria*, a univoltine, adult-wintering solitary bee. *J. Insect Physiol.* 56(12), 1949–1957.
- Bosch, J., Vicens, N. (2006) Relationship between body size, provisioning rate, longevity and reproductive success in females of the solitary bee *Osmia cornuta*. *Behav. Ecol. Sociobiol.* 60(1), 26–33.
- Brittain, C., Kremen, C. and Klein, A.-M. (2013a) Biodiversity buffers pollination from changes in environmental conditions. *Global Change Biology*, 19, 540-547.
- Burkle, L.A. and R.E. Irwin. 2010. Beyond biomass: measuring the effects of community-level nitrogen enrichment on floral traits, pollinator visitation and plant reproduction. *Journal of Ecology*, 98, 705-717.
- Calzoni, G.L., Speranza, A. (1998) Insect controlled pollination in Japanese plum (*Prunus salicina* Lindl.). *Sci. Hortic Amsterdam* 72(3–4), 227–237.
- Cane, J. H., and J. O. Tengö. 1981. Pheromonal cues of male *Colletes cunicularius*. *Journal of Chemical Ecology* 7: 427-436.
- Chagnon, M., Gingras, J. And Deoliveira, D. (1993) Complementary aspects of strawberry pollination by honey and indigenous bees (Hymenoptera) *Journal of Economic Entomology*, 86, 416-420.
- Contessi Alberto, *Le api*, Edagricole, Bologna 1983
- Cruz-Landim, C. da, and J. E. do Serrao. 1994. The evolutive significance of pollen use as protein resource by Trigonini bees. *Journal of Advanced Zoology* 15(1): 1-5.
- Danforth, B. N., J. L. Neff, and P. Burretto-Ko. 1996. Nestmate relatedness in a communal bee, *Perdita texana* (Hymenoptera: Andrenidae), based on DNA fingerprinting. *Evolution* 50: 276-284.
- Dawson, T.P., S.T. Jackson, J.I. House, I.C. Prentice, and G.M. Mace. 2011. Beyond predictions: biodiversity conservation in a changing climate. *Science*, 332(6025), 53-58.
- Desneux, N, A. Decourtye, J-M. Delpuech 2007. The sublethal effects of pesticides on beneficial arthropods. *Annual Review of Entomology* 52: 81-106 Doi: 10.1146/annurev.ento.52.110405.091440
- EFSA. 2012. Scientific Opinion on the science behind the development of a risk assessment of plant protection products on bees (*Apis mellifera*, *Bombus* spp. and solitary bees). *EFSA Journal*, 10,(5), 2668.

- Eickwort, G. C., J. M. Eickwort, J. Gordon, and M. A. Eickwort. 1996. Solitary behavior in a high-altitude population of the social sweat bee *Halictus rubicundus*. *Behavioral Ecology and Sociobiology* 38: 227-233.
- Elberling, H. and Olesen, J.M. (1999) The structure of a high latitude plant-flower visitor system: the dominance of flies. *Ecography*, 22, 314–323.
- Eves, D.J., F.D. Mayer, and A.C. Johansen. 1980. Parasites, predators, and nest destroyers of the alfalfa leafcutting bee, *Megachile rotundata* in: A Western Regional Extension Publication, 32: 1-15. Washington State.
- Farre-Armengol, G., I. Filella, J. Llusia, J., and J. Penuelas. 2013. Floral volatile organic compounds: Between attraction and deterrence of visitors under global change. *Perspectives in Plant Ecology Evolution and Systematics*, 15, 56-67.
- Fiori G., Bin F., Sensidoni A., Atlante entomologico, Galento editrice, Perugia, 1983
- Fischer, J. and D.B. Lindenmayer. 2007. Landscape modification and habitat fragmentation: a synthesis. *Global Ecology and Biogeography*, 16(3), 265-280.
- Free, J.B. (1993) *Insect pollination in crops*. Academic, London.
- Garibaldi LA, Carvalheiro LG, Vaissiere BE, Gemmill-Herren B, Hipolito J, Freitas BM, Ngo HT, Azzu N, Saez A, Astrom J, An J, Blochtein B, Buchori D, Chamorro Garcia FJ, Oliveira da Silva F, Devkota K, de Fatima Ribeiro M, Freitas L, Gaglianone MC, Goss M, Irshad M, Kasina M, Pacheco Filho AJS, Piedade Kiill LH, Kwapong P, Nates Parra G, Pires C, Pires V, Rawal RS, Rizali A, Saraiva AM, Veldtman R, Viana BF, Witter S, Zhang H: Mutually beneficial pollinator diversity and crop yield outcomes in small and large farms. *Science* 2016, 351:388-391.
- Garibaldi, L.A., Steffan-Dewenter, I., Winfree, R., Aizen, M.A., Bommarco, R., Cunningham, S.A., Kremen, C., Carvalheiro, L.G., Harder, L.D., Afik, O., Bartomeus, I., Benjamin, F., Boreux, V., Cariveau, D., Chacoff, N.P., Dudenhöffer, J.H., Freitas, B.M., Ghazoul, J., Greenleaf, S., Hipólito, J., Holzschuh, A., Howlett, B., Isaacs, R., Javorek, S.K., Kennedy, C.M., Krewenka, K.M., Krishnan, S., Mandelik, Y., Mayfield, M.M., Motzke, I., Munyuli, T., Nault, B.A., Otieno, M., Petersen, J., Pisanty, G., Potts, S.G., Rader, R., Ricketts, T.H., Rundlöf, M., Seymour, C.L., Schüepp, C., Szentgyörgyi, H., Taki, H., Tschardtke, T., Vergara, C.H., Viana, B.F., Wanger, T.C., Westphal, C., Williams, N. and Klein, A.M. (2013) Wild pollinators enhance fruit set of crops regardless of honey bee abundance. *Science*, 339, 1608-1611.
- Gaston, K.J., R.M. Smith., K. Thompson, and P.H. Warren. 2005. Urban domestic gardens (II): experimental tests of methods for increasing biodiversity. *Biodiversity and Conservation*, 14, 395-413.
- Ghazoul J. 2005. Buzziness as usual? Questioning the global pollination crisis. *Trends in Ecology & Evolution* 20: 367–373.
- Goulson, D. 2003. Effects of introduced bees on native ecosystems. *Annual Review of Ecology Evolution and Systematics*, 34, 1-26.
- Gruber, B., Eckel, K., Everaars, J. et al. On managing the red mason bee (*Osmia bicornis*) in apple orchards. *Apidologie* 42, 564 (2011). <https://doi.org/10.1007/s13592-011-0059-z>

- Hallmann CA, Sorg M, Jongejans E, Siepel H, Hofland N, Schwan H, Stenmans W, Müller A, Sumser H, Hörrer T, Goulson D, de Kroon H: More than 75 percent decline over 27 years in total flying insect biomass in protected areas. *PLOS ONE* 2017, 12: e0185809.
- Henry, M. I., M. Beguin, F. Requier, O. Rollin, J.-F. O. Odoux, P. Aupinel, J. Aptel, S. Tchamitchian, and A. Decourtye. 2012. A common pesticide decreases foraging success and survival in honey bees. *Science* 36:348-350.
- Hermann, M. (2008) Ertragsförderung&Qualitätssicherung durch optimale Bestäubung—Ansiedlung von einheimischen Mauerbienen. *Öko-Obstbau* 19(4), 17–19 (in German).
- Hermann, M. (2010) Einsatzmöglichkeiten und Haltung von Mauerbienen (*Osmia* sp.) in intensiven Obstkulturen. *Obstbau* 2, 66–69 (in German).
- Hoehn, P., Tscharrntke, T., Tylianakis, J.M. and Steffan-Dewenter, I. (2008) Functional group diversity of bee pollinators increases crop yield. *Proceedings of the Royal Society B-Biological Sciences*, 275, 2283-2291.
- Hoover, S.E.R., J.J. Ladley, A.A. Shchepetkina, M. Tisch, S.P. Gieseg, and J.M. Tylianakis. 2012. Warming, CO₂, and nitrogen deposition interactively affect a plant-pollinator mutualism. *Ecology Letters*, 15(3), 227-234.
- https://books.google.it/books?hl=it&lr=&id=qn88DwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA83&dq=osmia+cycle&ots=NerGpLmkMU&sig=C17GQkztcCSQHIPorbBemJ_vekg&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false
- IEEP 2011. The Economic benefits of the Natura 2000 Network. Institute of European Policy. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Union.
- Inouye, D. W. 2008. Effects of climate change on phenology, frost damage, and floral abundance of montane wildflowers. *Ecology* 89(2), 353-362.
- IPBES (2016). The assessment report of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services on pollinators, pollination and food production. S.G. Potts, V. L. Imperatriz-Fonseca, and H. T. Ngo, (eds). Secretariat of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, Bonn, Germany. 552 pages.
- IPCC, 2013. Annex III: Glossary [Planton, S. (ed.)]. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Jaffé R., V. Dietemann, M.H. Allsopp, C. Costa, R.M. Crewe., R. Dall’olio, P. De La Rúa, M.A. El-Niweiri, I. Fries, N. Kezic, M.S. Meusel, R.J. Paxton, T. Shaibi, E. Stolle, and R.F. Moritz. 2010. Estimating the density of honeybee colonies across their natural range to fill the gap in pollinator decline censuses. *Conservation Biology*, 24(2), 583-593.
- Jander, R. 1976. Grooming and pollen manipulation in bees (Apoidea): The nature and evolution of movements involving the foreleg. *Physiological Entomology* 1: 179-194.

- Junqueira, C.N., Yamamoto, M., Oliveira, P.E., Hogendoorn, K. and Augusto, S.C. (2013). Nest management increases pollinator density in passion fruit orchards. *Apidologie*, 44, 729-737.
- Kahono, S. 2011. Effect of extreme wet climate to the number of immigrant colonies of the giant honeybee *Apis dorsata* F. International Conference on Conservation and Management of Pollinators. September 14-17, 2011, Kuching, Sarawak, Malaysia.
- Keller, A, G. Grimmer, and I. Steffan-Dewenter. 2013. Diverse Microbiota identified in whole intact nest chambers of the red mason bee *Osmia bicornis* (Linnaeus 1758). *PLOS One*, 8 / 10: e78296.
- Kennedy, C.M., Lonsdorf, E., Neel, M.C., Williams, N.M., Ricketts, T.H., Winfree, R., Bommarco, R., Brittain, C., Burley, A.L., Cariveau, D., Carvalho, L.G., Chacoff, N.P., Cunningham, S.A., Danforth, B.N., Dudenhöffer, J.-H., Elle, E., Gaines, H.R., Garibaldi, L.A., Gratton, C., Holzschuh, A., Isaacs, R., Javorek, S.K., Jha, S., Klein, A.M., Kremen, K., Mandelik, Y., Mayfield, M.M., Morandin, L., Neame, L.A., Otieno, M., Park, M., Potts, S.G., Rundlöf, M., Saez, A., Steffan-Dewenter, I., Taki, H., Viana, B.F., Westphal, C., Wilson, J.K., Greenleaf, S.S. and Kremen, C. (2013) A global quantitative synthesis of local and landscape effects on wild bee pollinators in agroecosystems. *Ecology Letters*, 16, 584-599.
- Kitamura, T. (1969) Studies on the pollination of apple by *Osmia* (III) preliminary report on the homing ability of *Osmia cornifrons* (Radoszkowski) and *O. pedicornis* Cockerell. *Kontyu* 37(1), 83–90.
- Kleijn, D., F. Kohler, A. Báldi, P. Batáry, E.D. Concepcion, Y. Clough, M. Diaz, D. Gabriel, A. Holzschuh, E. Knop, A. Kovács, E.J.P. Marshall, T. Tschardtke, and J. Verhulst. 2009. On the relationship between farmland biodiversity and land-use intensity in Europe. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 276, 903-909.
- Klein, A.M., Vaissiere, B.E., Cane, J.H., Steffan-Dewenter, I., Cunningham, S.A., Kremen, C. and Tschardtke, T. (2007) Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proceedings of the Royal Society B-Biological Sciences*, 274, 303-313.
- Kluser S, Peduzzi P. 2007. Global pollinator decline: a literature review. Geneva: UNEP/GRID.
- Kornmilch, J.C. (2010) Einsatz von Mauerbienen zur Bestäubung von Obstkulturen; Handbuch zur Nutzung der Roten Mauerbiene in Obstplantagen und Kleingärten. Bienenhotel, Rostock (in German).
- Krauss, J., R. Bommarco, M. Guardiola, R.K. Heikkinen, A. Helm, M. Kuussaari, R. Lindborg, E. Ockinger, M. Partel, J. Pino, J. Poyry, K.M. Raatikainen, A. Sang, C. Stefanescu, T. Teder, M. Zobel, and I. Steffan- Dewenter. 2010. Habitat fragmentation causes immediate and time-delayed biodiversity loss at different trophic levels. *Ecology Letters*, 13(5), 597-605.
- Kremen, C., Williams, N.M. and Thorp, R.W. (2002) Crop pollination from native bees at risk from agricultural intensification. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 99, 16812–16816.

- Krunić, M., L. Stanisavljević, M. Pinzauti, and A. Antonio Felicioli. 2005. The accompanying fauna of *Osmia cornuta* and *Osmia rufa* and effective measures of protection. *Bulletin of Insectology*, 58(2), 141-152.
- Krunic, M., Stanisavljevic, L. (2006) Augmentation of managed populations of *Osmia cornuta* and *O. rufa* (Hymenoptera: Megachilidae) in Southeastern Europe. *Eur J Entomol* 103(3), 695–697.
- Krunic, M., Stanisavljevic, L., Brajkovic, M., Tomanovic, Z., Radovic, I. (2001) Ecological studies of *Osmia cornuta* (Latr.) (Hymenoptera, Megachilidae) populations in Yugoslavia with special attention to their diapause, in: Benedek, P., Richards, K.W. (Eds.), *Acta Hort. (ISHS)* 561, 297–301.
- Lambert, A.M., A.J. Miller-Rushing, and D.W. Inouye. 2010. Changes in snowmelt date and summer precipitation affect the flowering phenology of *Erythronium grandiflorum* (Glacier Lily; Liliaceae). *American Journal of Botany*, 97(9), 1431-1437.
- Laport, R.G., and R.L. Minckley. 2012. Occupation of active *Xylocopa virginica* nests by the recently invasive *Megachile sculpturalis* in Upstate New York. *Journal of the Kansas Entomological Society*, 85, 384-386.
- Larson, B.M.H., Kevan, P.G. and Inouye, D.W. (2001) Flies and flowers: taxonomic diversity of anthophiles and pollinators. *The Canadian Entomologist*, 133, 439-465.
- Lautenbach, S., Seppelt, R., Liebscher, J. and Dormann, C.F. (2012) Spatial and Temporal Trends of Global Pollination Benefit. *PLoS ONE*, 7, e35954.
- Lin, N., and C. D. Michener. 1972. Evolution of sociality in insects. *Quarterly Review of Biology* 47: 131-159.
- Maccagnani, B., Burgio, G., Stanisavljevic, L.Z., Main, S. (2007) *Osmia cornuta* management in pear orchards. *Bull. Insectology* 60(1), 77–82.
- MacIvor, J.S., and L. Packer. 2015. ‘Bee Hotels’ as tools for native pollinator conservation: a premature verdict? *PLoS ONE*, 10(3), e0122126.
- Maddocks, R., Paulus, H.F. (1987) Quantitative aspects of the breeding biology of *Osmia rufa* L. and *Osmia cornuta* Latr. (Hymenoptera: Megachilidae) a comparative study of competition-reducing mechanisms in 2 closely related bee species. *Zool. Jahrb. Abt. Syst. Oekol. Geog Tiere* 114(1), 15–44.
- Maeta, Y. (1978) Comparative studies on the biology of the bees of the genus *Osmia* in Japan, with special reference to their management for pollination of crops (Hymenoptera, Megachilidae). *Bull Tohoku Nat. Agric. Exp. Stat* 57, 1–221 (in Japanese).
- Maeta, Y. (1990). Utilization of wild bees. *Farminig Japan*, 24, 13-19. Bosch J. and Kemp, W.P. 2002. Developing and establishing bee species as crop pollinators: the example of *Osmia* spp. (Hymenoptera: Megachilidae) and fruit trees. *Bulletin of Entomological Research* 92:3-16.
- Maeta, Y., Kitamura, T. (1974) How to manage the Mame-ko bee (*Osmia cornifrons* Radoszkowski) for pollination of fruit crops. *Ask. Co. Ltd, Naganoshi* (in Japanese).

- Marcelo A. Aizen, Lucas A. Garibaldi, Saul A. Cunningham, Alexandra M. Klein, How much does agriculture depend on pollinators? Lessons from long-term trends in crop production, *Annals of Botany*, Volume 103, Issue 9, June 2009, Pages 1579–1588, <https://doi.org/10.1093/aob/mcp076>
- Masuda, T. and Goldsmith, P.D. (2009) World soybean production: area harvested, yield, and long-term projections. *International Food and Agribusiness Management Review* 12,143–162.
- Meeus I, Steffan-Dewenter I: What is driving the declines in wild bee populations? *Curr Opin Insect Sci* 2018. (this issue).
- Memmott, J., P.G. Craze, N.M. Waser, and M.V. Price. 2007. Global warming and the disruption of plant-pollinator interactions. *Ecology Letters*, 10(8), 710-717.
- Michener, C. D., 1944. Comparative external morphology, phylogeny, and a classification of the bees. *Bulletin of the American Museum of Natural History* 82: 151-326.
- Michener, C. D., 1944. New species and records in *Megachile*. *Pan-Pacific Entomologist* 20: 132-143. [Key to species of subgenus *Derotropis*.]
- Michener, C. D., 1953b. The biology of a leafcutter bee (*Megachile brevis*) and its associates. *University of Kansas Science Bulletin* 35: 1659-1748.
- Michener, C. D., 1968b. *Heriades spiniscutis*, a bee that facultatively omits partitions between rearing cells. *Journal of the Kansas Entomological Society* 41: 484-493.
- Michener, C. D., 1979a. Biogeography of the bees. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 66: 277-347.
- Michener, C. D., 1985b. From solitary to eusocial: Need there be a series of intervening species?, pp. 293-305 in B. Hölldobler and M. Lindauer, eds., *Experimental Behavioral Ecology and Sociobiology*. *Fortschritte der Zoologie* 31
- Michener, C. D., and C. W. Rettenmeyer. 1956. The ethology of *Andrena erythronii* with comparative data on other species. *University of Kansas Science Bulletin* 37: 645–684.
- Michener, C. D., R. J. McGinley, and B. N. Danforth. 1994. *The Bee Genera of North and Central America*. Viii 209 pp. Washington: Smithsonian Institution Press.
- Michener, C.D. (2007) *The Bees of the World*. 2nd Edition, John Hopkins University Press, Baltimore.
- Michener, C.D. 2000. *The Bees of the World*. Johns Hopkins University Press, Baltimore, MD, USA.
- Mitchell, T.B. (1962) *Bees of the Eastern United States*. Technical bulletin. The North Carolina Agricultural Experiment Station, Raleigh.
- Monzon, V.H., Bosch, J., Retana, J. (2004) Foraging behavior and pollinating effectiveness of *Osmia cornuta* (Hymenoptera: Megachilidae) and *Apis mellifera* (Hymenoptera: Apidae) on “Comice” pear. *Apidologie* 35(6), 575–585.
- Moon, W. 2011. Is agriculture compatible with free trade? *Ecological Economics*, 71, 13-24.
- Cameron, S. A., J. D. Lozier, J. P. Strange, J. B. Koch, N. Cordes, L. F. Solter, and T. L.

- Griswold. 2011. Patterns of widespread decline in North American bumble bees. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 108:662-667.
- Morales, C.L., M.P. Arbetman, S.A. Cameron, and M.A. Aizen. 2013. Rapid ecological replacement of a native bumble bee by invasive species. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 11, 529-534.
- Müller, A. 1996b. Host plant specialization in western palearctic anthidiine bees. *Ecological Monographs* 66: 235-257.
- Neff, J.I. and Simpson, B.B. (1993) Bees, pollination systems and plant diversity. *Hymenoptera and biodiversity* (ed. J.LeSalle &I.D. Gauld), Center for Agriculture and Bioscience (CAB) International, Wallingford, England. pp. 143-167.
- Neumann, P., Carreck, N.L. (2010) Honey bee colony losses. *J. Apic. Res.* 49, 1–6.
- Nieto, A., Roberts, S.P.M., Kemp, J., Rasmont, P., Kuhlmann, M., García Criado, M., Biesmeijer, J.C., Bogusch, P., Dathe, H.H., De la Rúa, P., De Meulemeester, T., Dehon, M., Dewulf, A., Ortiz-Sánchez, F.J., Lhomme, P., Pauly, A., Potts, S.G., Praz, C., Quaranta, M., Radchenko, V.G., Scheuchl, E., Smit, J., Straka, J., Terzo, M., Tomozii, B., Window, J. and Michez, D. 2014. European Red List of bees. Luxembourg: Publication Office of the European Union.
- Ollerton, J., Winfree, R. and Tarrant, S. (2011) How many flowering plants are pollinated by animals? *Oikos*, 120, 321-326.
- Packer, 1997. The relevance of phylogenetic systematics to biology: Examples from medicine and behavioral biology. *Mémoires du Muséum National d'Histoire Naturelle [Paris]* 173: 11-29
- Pelto GH, Pelto PJ. 1983. Diet and delocalization: dietary changes since 1750. *Journal of Interdisciplinary History* 14: 507–528.
- Perfecto, I., and J. Vandermeer. 2008. A New Conservation Paradigm. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1134, 173-200.
- Persson, M., S. Henders, and T. Kastner. 2014. Trading Forests: Quantifying the Contribution of Global Commodity Markets to Emissions from Tropical Forests. Centre for Global Development. Working Paper 384, Washington, DC, USA. Online: <http://www.cgdev.org/sites/default/files/CGD-Climate-Forest-Series-8-persson-et-al-trading-forests.pdf>.
- Potts SG, Imperatriz-Fonseca V, Ngo HT, Aizen MA, Biesmeijer JC, Breeze TD, Dicks LV, Garibaldi LA, Hill R, Settele J, Vanbergen A: Safeguarding pollinators and their values to human wellbeing. *Nature* 2016, 540:220-229.
- Purves, R.G., P.T.P Clifford, and B.J. Donovan. 1998. Preliminary observations of *Osmia coerulescens* as a pollinator of herbage seed crops. *Proceedings of the New Zealand Grassland Association*, 60, 161-164.
- Radmacher, S., Strohm, E. (2011) Effects of constant and fluctuating temperatures on the development of the solitary bee *Osmia bicornis* (Hymenoptera: Megachilidae). *Apidologie* 42(6), 711–720.

Ramos, K. dos Santos, C. G. dos Santos, C. Schlindwein, and B. Blochtein. 2004. Tegumentary glands associated to foveae in the second metasomal tergum of *Panurgillus* Moure. *Revista Brasileira de Entomologia* 48: 163-167.

Ricketts T, Regetz J, Steffan-Dewenter I, Cunningham SA, Kremen C, Bogdanski A, et al. 2008. Landscape effects on crop pollination services: are there general patterns? *Ecology Letters* 11: 499–515.

Rosalind R. James, Theresa L. Pitts-Singer, *Bee pollination in agricultural ecosystems*, Oxford University Press, New York, 2008
https://books.google.it/books?id=ZesJCAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=it&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false

Roubik, D.W., and H. Wolda. 2001. Do competing honey bees matter? Dynamics and abundance of native bees before and after honey bee invasion. *Population Ecology*, 43(1), 53-62.

Sampson, B.J., Cane, J.H., Kirker, G.T., Stringer, S.J., Spiers, J.M. (2009) Biology and management potential for three orchard bee species (Hymenoptera: Megachilidae): *Osmia ribifloris* Cockerell, *O. lignaria* (Say) and *O. chalybea* Smith with emphasis on the former. In: Hummer, K.E. (Ed.), *Acta Hort. (ISHS)* 810, 549–555.

Scoble, M.J. (1995) *The Lepidoptera: Form, Function and Diversity*. Oxford University Press.

Sedivy, C., Dorn, S. Towards a sustainable management of bees of the subgenus *Osmia* (Megachilidae; *Osmia*) as fruit tree pollinators. *Apidologie* 45, 88–105 (2014).
<https://doi.org/10.1007/s13592-013-0231-8>.

Seidelmann, K., Ulbrich, K., Mielenz, N. (2010) Conditional sex allocation in the Red Mason bee, *Osmia rufa*. *Behav. Ecol. Sociobiol.* 64, 337–347.

Seidelmann, K., Ulbrich, K., Mielenz, N. (2010) Conditional sex allocation in the red mason bee, *Osmia rufa*. *Behav. Ecol. Sociobiol.* 64(3), 337–347.

Settele, J., R. Scholes, R. Betts, S. Bunn, P. Leadley, D. Nepstad, J.T. Overpeck, and M.A. Taboada. 2014. Terrestrial and Inland Water Systems. In: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Field CB, Barros VR, Dokken DJ, Mach KJ, Mastrandrea MD, Bilir TE, Chatterjee M, Ebi KL, Estrada YO, Genova RC, Girma B, Kissel ES, Levy AN, MacCracken S, Mastrandrea PR, White LL (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 271-359.

Sgolastra, F., Kemp, W.P., Maini, S., Bosch, J. (2012) Duration of prepupal summer dormancy regulates synchronization of adult diapause with winter temperatures in bees of the genus *Osmia*. *J. Insect Physiol.* 58(7), 924–933.

Shackelford, G., Steward, P.R., Benton, T.G., Kunin, W.E., Potts, S.G., Biesmeijer, J.C. and Sait, S.M. (2013) Comparison of pollinators and natural enemies: a meta-analysis of landscape and local effects on abundance and richness in crops. *Biological Reviews*, 88, 1002-1021.

- Singh, R., A.L. Levitt, E.G. Rajotte, E.C. Holmes, N. Ostiguy, D. vanEngelsdorp, W.I. Lipkin, C.D. de Pamphilis, A.L. Toth, and D.L. Cox-Foster. 2010. RNA Viruses in Hymenopteran pollinators: evidence of inter-taxa virus transmission via pollen and potential impact on non-*Apis* Hymenopteran Species. *PLoS ONE*, 5(12), e14357.
- Steffan-Dewenter I, Potts SG, Packer L. 2005. Pollinator diversity and crop pollination services are at risk. *Trends in Ecology & Evolution* 20: 651–652.
- Steffan-Dewenter, I., Schiele, S. (2004) Nest-site fidelity, body weight and population size of the red mason bee, *Osmia rufa* (Hymenoptera: Megachilidae), evaluated by mark-recapture experiments. *Entomol. Gen.* 27(2), 123–132.
- Steffan-Dewenter, I., Schiele, S. (2008) Do resources or natural enemies drive bee population dynamics in fragmented habitats? *Ecology* 89, 1375– 1387.
- Stephen, W.P., J.D. Vandenberg, and B.L. Fichter. 1981. Etiology and epizootiology of chalkbrood in the leafcutting bee, *Megachile rotundata* (Fabricius), with notes on *Asosphaera* species. *Station Buletin*, 653.
- Tepedino, V.J., Thompson, R., Torchio, P.F. (1984), Heritability for size in the megachilid bee *Osmia lignaria propinqua* Cresson. *Apidologie* 15(1), 83–87.
- Tepedino, V.J., Torchio, P.F. (1982a) Temporal variability in the sex-ratio of a nonsocial bee, *Osmia lignaria propinqua*—extrinsic determination or the tracking of an optimum. *Oikos* 38(2), 177–182.
- Thuiller, W., S. Lavorel, M.B. Araujo, M.T. Sykes, and I.C. Prentice. 2005. Climate change threats to plant diversity in Europe. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 102(23), 8245-8250.
- Torchio, P.F. (1976) Use of *Osmia lignaria* (Hymenoptera: Apoidea: Megachilidae) as a pollinator in an apple and prune orchard. *J. Kansas Entomol. Soc.* 49(4), 475–482.
- Torchio, P.F. (1981a) Field experiments with *Osmia lignaria propinqua* Cresson as a pollinator in almond orchards 1. 1975 studies (Hymenoptera, Megachilidae). *J. Kansas Entomol Soc* 54(4), 815–823.
- Torchio, P.F. (1981b) Field experiments with *Osmia lignaria propinqua* Cresson as a pollinator in almond orchards 2. 1976 studies (Hymenoptera, Megachilidae). *J. Kansas Entomol Soc* 54(4), 824–836.
- Torchio, P.F. (1982a) Field experiments with the pollinator species, *Osmia lignaria propinqua* Cresson, in apple orchards 1. 1975 studies (Hymenoptera, Megachilidae). *J. Kansas Entomol Soc* 55(1), 136–144.
- Torchio, P.F. (1982b) Field experiments with the pollinator species, *Osmia lignaria propinqua* Cresson, in apple orchards 2. 1976 studies (Hymenoptera, Megachilidae). *J. Kansas Entomol Soc* 55(4), 759–778.
- Torchio, P.F. (1984a) Field experiments with the pollinator species, *Osmia lignaria propinqua* Cresson (Hymenoptera, Megachilidae) in apple orchards 3. 1977 studies. *J. Kansas Entomol Soc* 57(3), 517–521.

- Torchio, P.F. (1985) Field experiments with the pollinator species, *Osmia lignaria propinqua* Cresson, in apple orchards 5. (1979–1980), methods of introducing bees, nesting success, seed counts, fruit yields (Hymenoptera, Megachilidae). *J. Kansas Entomol Soc* 58(3), 448–464.
- Torchio, P.F. (1991b) Use of *Osmia lignaria propinqua* (Hymenoptera, Megachilidae) as a mobile pollinator of orchard crops. *Environ. Entomol.* 20(2), 590–596.
- Torchio, P.F., Asensio, E., Thorp, R.W. (1987) Introduction of the European bee, *Osmia cornuta*, into California almond orchards (Hymenoptera, Megachilidae). *Environ. Entomol.* 16(3), 664–667.
- Torchio, P.F., Tepedino, V.J. (1980) Sex-ratio, body size and seasonality in a solitary bee, *Osmia lignaria propinqua* Cresson (Hymenoptera, Megachilidae). *Evolution* 34(5), 993–1003.
- Tscharntke, T., Clough, Y., Wanger, T.C., Jackson, L., Motzke, I., Perfecto, I., Vandermeer, J. and Whitbread, A. (2012a) Global food security, biodiversity conservation and the future of agricultural intensification. *Biological Conservation*, 151, 53-59.
- Turillazzi S., *Le società delle vespe*, Alberto Perdisa Editore, Bologna 2003
- Tylianakis, J.M., R.K. Didham, J. Bascompte, and D.A. Wardle. 2008. Global change and species interactions in terrestrial ecosystems. *Ecology Letters*, 11(12), 1351-1363.
- UNEP 2010. Emerging Issues: Global Honey Bee Colony Disorder and Other Threats to Insect Pollinators.
http://www.unep.org/dewa/Portals/67/pdf/Global_Bee_Colony_Disorder_and_Threats_insect_pollinators.pdf.
- Vandame, R., Meled, M., Colin, M.E., and Belzunces, L.P. 1995. Alteration of the homing-flight in the honey bee *Apis mellifera* L. exposed to sublethal dose of deltamethrin. *Environ. Toxicol. Chem.* 14: pp. 855-60.
- Vicens, N., Bosch, J. (2000a) Nest site orientation and relocation of populations of the orchard pollinator *Osmia cornuta* (Hymenoptera: Megachilidae). *Environ. Entomol.* 29(1), 69–75.
- Vicens, N., Bosch, J. (2000c) Weather-dependent pollinator activity in an apple orchard, with special reference to *Osmia cornuta* and *Apis mellifera* (Hymenoptera: Megachilidae and Apidae). *Environ. Entomol.* 29(3), 413–420.
- Watanabe ME. 1994. Pollination worries rise as honey bees decline. *Science* 265: 1170–1170.
- Westrich, P. (1989) *Die Wildbienen Baden-Württembergs*. Ulmer, Stuttgart (in German).
- Wilkaniec, Z., Giejdasz, K. (2003) Suitability of nesting substrates for the cavity-nesting bee *Osmia rufa*. *J. Apic. Res.* 42(3), 29–31.
- Williams, N.M., E.E. Crone, T.a.H. Roulston, R.L. Minckley, L. Packer, and S.G. Potts. 2010. Ecological and life-history traits predict bee species responses to environmental disturbances. *Biological Conservation*, 143(10), 2280-2291.
- Williams, N.M., Kremen, C. (2007) Resource distributions among habitats determine solitary bee offspring production in a mosaic landscape. *Ecol. Appl.* 17, 910–921.

- Willmer, P., 2012: Ecology: pollinator-plant synchrony tested by climate change. *Current Biology*, 22(4), 131-132.
- Winters LA, Yusuf S. 2007. *Dancing with giants: China, India, and the global economy*. Washington, DC: World Bank Publications.
- Wolkovich, E.M., B.I. Cook, J.M. Allen, T.M. Crimmins, J.L. Betancourt, S.E. Travers, S. Pau, J. Regetz, T.J. Davies, N.J.B. Kraft, T.R. Ault, K. Bolmgren, S.J. Mazer, G.J. McCabe, B.J. McGill, C. Parmesan, N. Salamin, M.D. Schwartz, and E.E. Cleland. 2012. Warming experiments underpredict plant phenological responses to climate change. *Nature*, 485, 494-497.
- Yamada, M., Oyama, N., Sekita, N., Shirasaki, S., Tsugawa, C. (1971) The ecology of the megachilid bee *Osmia cornifrons* and its utilization for apple pollination. *Bull. Aomori Apple Exp. Stat.* 15, 1–80 (in Japanese).
- Yoshida, A. and Maeta, Y. (1988). [Utilization of *Osmia cornifrons* (Radoszkowski) as a pollinator of apples in southwestern Japan] *Honeybee Science*, 9, 1-6.
- Youssef, N.N., W.R. McManus, and P.F. Torchio. 1985. Cross-infectivity Potential of *Ascosphaera* Spp. (Ascomycetes: *Ascosphaera*) on the Bee, *Osmia lignaria propinqua* Cresson (Megachilidae: *Osmia*). *Journal of Economic Entomology*, 78, 227-231.