



**ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA**

DIPARTIMENTO DI SCIENZE E TECNOLOGIE AGROALIMENTARI

CORSO DI LAUREA IN TECNOLOGIE ALIMENTARI

**L'ENTOMOFAGIA IERI E OGGI: TRA LEGGI, NUTRIZIONE E IMPATTO AMBIENTALE
DEL NOVEL FOOD EUROPEO**

Tesi di laurea in Patologia e parassitologia dei prodotti e delle derrate

Relatore

Prof. Laura Depalo

Presentata da

Victoria Mariani

Sessione dicembre 2025

Anno Accademico 2024/2025

Indice

Abstract.....	4
Introduzione	6
Capitolo 1: Sviluppo dell'entomofagia	7
1.1 Gli insetti	7
1.2 All'origine dell'entomofagia	8
1.3 Il consumo di insetti a livello globale	9
1.4 Morfologia degli insetti edibili.....	11
Capitolo 2: Normativa sulla commercializzazione degli insetti edibili	15
2.1 Regolamento (CE) n. 258/97 sui “Novel Food”	15
2.2 L'evoluzione normativa: dal Regolamento 258/97 al Regolamento (UE) 2015/2283	15
2.3 L'EFSA e gli Insetti Edibili	16
2.4 Autorizzazione di un Novel Food in Europa.....	17
2.5 Procedura di Notifica degli Alimenti Tradizionali da Paesi Terzi.....	17
Capitolo 3: Aspetti nutraceutici.....	19
3.1 I macronutrienti	19
3.2 I micronutrienti	22
3.3 Fattori di rischio del consumo di insetti edibili	24
3.4 Comparazione tra insetti edibili e prodotti animali	26
Capitolo 4: Impatto ambientale.....	28
4.1 Confronto tra allevamento tradizionale e allevamento di insetti.....	28
4.1.1 Conversione alimentare.....	29
4.1.2 Substrati alimentari per l'allevamento degli insetti	31
4.2 Minacce fitosanitarie	33
4.2.1 Il caso Acheta domesticus	33
4.3 Benessere animale.....	34
Conclusioni	35
Bibliografia	37
Sitografia.....	41
Appendice	42

Questa tesi è frutto della mia attività di studio e di ricerca: le scelte metodologiche, le argomentazioni, la struttura della tesi e le conclusioni sono frutto di un lavoro originale e sono basate sullo studio di fonti accademiche citate nella bibliografia.

Per la redazione ho utilizzato strumenti di intelligenza artificiale generativa ad esclusivo supporto di attività redazionali e di analisi. Come supporto allo studio ho utilizzato NotebookLM.

Abstract

Nel mio elaborato di tesi “L’entomofagia ieri e oggi: tra leggi, nutrizione e impatto ambientale del Novel food europeo” ho trattato il tema del Novel food nella prospettiva di approfondire l’impronta ambientale di questa pratica sia dal punto di vista storico sia da quello legislativo, nutrizionale ed ambientale mettendo in luce i vantaggi ambientali e nutritivi, ma allo stesso tempo i rischi e le problematiche che comporta.

In particolare, nel primo capitolo, ho dimostrato come il consumo di insetti abbia origini antiche e come attualmente sia presente in maniera eterogenea nelle diverse parti del nostro continente.

Nel secondo capitolo ho approfondito il quadro normativo europeo, dall’immissione del Novel food nella filiera agroalimentare alle normative attualmente in vigore.

Nel terzo capitolo ho messo a confronto i valori nutrizionali di diversi tipi di alimenti: insetti e bestiame proveniente da allevamento intensivo.

Infine, nel quarto e ultimo capitolo affronto il risvolto ambientale correlato all’allevamento di insetti a confronto con altre forme, dimostrando che, seppur con dei rischi economici e fitosanitari, il mini bestiame porta con sé un impatto ambientale minore e un apporto nutritivo pari ad altre forme di alimentazione.

Concludendo, nonostante l'allevamento di insetti sia una pratica ecosostenibile e vantaggiosa a livello nutrizionale, ci sono ancora molti aspetti da affrontare ed approfondire, sia dal punto di vista legislativo che da quello culturale e sociale.

Introduzione

La seguente tesi di laurea si propone di analizzare l'entomofagia, ovvero il regime alimentare basato sul consumo di insetti, nel contesto odierno. In un periodo storico dove le preoccupazioni per la crescente popolazione mondiale e l'impatto ambientale dei sistemi di allevamento tradizionali sono all'ordine del giorno, gli insetti si propongono come alternativa proteica ed ecosostenibile.

L'obiettivo di questo elaborato è fare luce sui temi più discussi legati al consumo di insetti, determinando la fattibilità e la sicurezza dell'introduzione degli insetti nella catena alimentare sia le criticità e i dubbi ad essi legati.

La tesi è articolata in quattro capitoli: il primo fornisce una panoramica storica e globale sull'entomofagia, partendo da alcuni riferimenti storici sulle origini di questa pratica fino ad arrivare ai giorni nostri, approfondendo la sua diffusione a livello globale e le specie più consumate. Nel secondo capitolo verrà esposto il quadro normativo europeo sugli insetti edibili. Dall'introduzione del termine "Novel food" nel Regolamento 259/97 fino al vigente Regolamento 2015/2283 che ha permesso l'autorizzazione di specie come *Acheta domesticus*, *Alphitobius diaperinus*, *Locusta migratoria* e *Tenebrio molitor*. Il terzo capitolo si concentra sul profilo nutrizionale, dimostrando che gli insetti possono essere delle valide alternative per l'alto contenuto di lipidi e l'eccellente fonte di micronutrienti ma approfondisce anche i potenziali rischi legati al consumo di insetti. Il quarto capitolo valuta la sostenibilità ambientale, paragonando gli allevamenti intensivi tradizionali con gli allevamenti di mini-bestiami, analizzandone i potenziali rischi fitosanitari legati a specie come *Acheta domesticus*.

Lo studio conferma che gli insetti rappresentano una risorsa alimentare promettente e sostenibile. Tuttavia, l'integrazione nel mercato europeo richiede il mantenimento di un elevato standard di sicurezza legata alla gestione dei rischi e alla trasparenza in etichettatura.

Capitolo 1: Sviluppo dell'entomofagia

1.1 Gli insetti

Il numero totale di specie animali, attualmente conosciute, risulta superiore agli 8 milioni. Di fronte ad una varietà così ampia, le specie di insetti sono stimate a circa 1 milione, anche se si presume che fra queste ultime ve ne possano essere altre non ancora identificate (Williams, 2013).

Gli insetti sono caratterizzati da una ampia biodiversità con 30 ordini classificati, di questi molti comprendono specie commestibili. I principali ordini di interesse alimentare sono: coleotteri, lepidotteri, ditteri, ortotteri e imenotteri.

Dal punto di vista tassonomico, gli insetti appartengono al phylum degli artropodi e costituiscono una classe a sé stante; il termine "insetti" deriva dalla struttura segmentata del loro corpo (detta metamerica): gli insetti si caratterizzano per la struttura del loro corpo fatto da capo, torace e addome, rivestito esternamente da un esoscheletro chitinoso con diversi gradi di sclerificazione, con una funzione protettiva e di sostegno per gli organi interni.

Da un punto di vista evolutivo, si ritiene che gli insetti abbiano avuto origine da un antenato vermiforme simile agli Anellidi, dal quale si sono differenziati sviluppando le regioni corporee specializzate e le appendici appena descritte.

All'interno degli ecosistemi, gli insetti svolgono diversi ruoli quali ad esempio l'influenza sul ciclo di vita delle piante e l'apporto alimentare per diverse specie animali, fra i quali anche l'uomo.

Per quanto riguarda la prima funzione, ci sono due aspetti importanti da considerare: l'impollinazione e il riciclo della sostanza organica. Circa il 98% degli oltre 100.000 impollinatori conosciuti è costituito da insetti. Inoltre, gli insetti, come ad esempio le larve di mosca soldato nera *Hermetia illucens* L. (Diptera: Stratiomyidae) e alcuni coleotteri, svolgono un ruolo fondamentale nella biodegradazione della materia organica, favorendo il riciclo di nutrienti e la riduzione dei rifiuti organici. (van Huis et al., 2013)

In riferimento all'apporto degli insetti sulla vita delle specie animali, gli insetti oltre a fungere da fonte di cibo, forniscono - in particolare all'uomo - una serie di altri prodotti preziosi: ad esempio contribuiscono alla produzione del miele e della seta, del carminio -un colorante rosso prodotto da alcune cocciniglie (ordine Hemiptera) utilizzato come colorante alimentare-, della resilina – utilizzata in medicina per riparare le arterie grazie alle sue proprietà elastiche (van Huis et al., 2013).

Dall'altra parte, in ambito alimentare, gli insetti possono creare anche condizioni complesse e peggiorative: essendo estremamente polifagi e riuscendo a nutrirsi e sopravvivere anche in presenza

di piccole quantità di cibo, la loro presenza provoca variazioni sulla qualità finale dei prodotti alimentari, con il conseguente rischio di provocare gravi danni commerciali. Questo aspetto, insieme a fattori di carattere culturale e psicologico, oltre a complicità normative, ha ostacolato l'introduzione degli insetti edibili nel mercato italiano.

1.2 All'origine dell'entomofagia

Il termine entomofagia deriva dal greco *éntomos* ("insetto") e *phagein* ("mangiare") e indica un regime alimentare fortemente caratterizzato dal consumo di insetti.

La datazione delle prime pratiche è incerta anche a causa della scarsa conservazione dei resti di questi organismi e dell'assenza di evidenti tracce negli apparati digerenti fossili; tuttavia, indizi convergono su epoche antiche. Oltre a tracce di pitture rupestri, credibilmente risalenti al Paleolitico, l'evidenza più concreta proviene da coproliti umani (feci fossilizzate) con resti di tegumenti di insetti, ali e altre parti (come pupari, frammenti di coleotteri e altri insetti non identificati) datati tra i 5710 e 5590 anni radiocarbonici prima del presente, scoperti in siti archeologici come le Hinds Cave in Texas. (Glenna W. Dean 2006)

Nelle fonti antiche scritte, ricorrono riferimenti espliciti: nell'Antico Testamento, nel libro del Levitico leggiamo che:

“Vi sarà pure in abominio ogni insetto alato che cammina su quattro piedi. Però, fra tutti gl'insetti alati che camminano su quattro piedi, mangerete quelli che hanno gambe al disopra de' piedi per saltare sulla terra. Di questi potrete mangiare: ogni specie di cavalletta, ogni specie di solam, ogni specie di hargol e ogni specie di hagab. Ogni altro insetto alato che ha quattro piedi vi sarà in abominio” (Levitico 11,20–23).

Anche nell'opera *Naturalis Historia* di Plinio il Vecchio, sono menzionati usi alimentari di insetti e cautele verso specie potenzialmente nocive, oltre alla trattazione dei valori nutrizionali degli insetti e il loro potenziale come fonti di cibo.

Da queste fonti si può dedurre come le pratiche tradizionali di consumo degli insetti potrebbero essere state diffuse come abitudine alimentare fin dall'antichità.

Proseguendo nei secoli, durante il Medioevo, in Europa, non si ritrovano tracce di pratiche entomofagiche abituali e consolidate, a differenza degli altri continenti.

Il Compendio di Materia Medica di Li Shizhen, uno dei libri più grandi e completi sulla medicina cinese, scritto durante la Dinastia Ming in Cina (1368–1644), elenca le specie di insetti edibili e ne esalta i benefici medici e nutrizionali. Anche in altre zone, come nell'Africa occidentale, vengono

attribuiti valori rituali oltre che alimentari a specie come bruchi e termiti. Infine, in Oceania, grilli e il punteruolo nero delle palme *Rhynchophorus bilinetus* (J.Faust, 1899) (Coleoptera: Curculionidae) costituiscono da secoli una risorsa nutritiva per il loro alto contenuto proteico e lipidico. (Van Huis et al., 2013)

Ad oggi, la FAO (Organizzazione delle Nazioni Unite per l'alimentazione e l'Agricoltura) dichiara che l'entomofagia coinvolge circa 2 miliardi di persone e vengono consumate più di 1900 specie edibili. (www.fao.org)

1.3 Il consumo di insetti a livello globale

Il consumo di insetti è una pratica ormai radicata in molte culture e in diverse parti del mondo. Gli insetti vengono consumati in tutte le fasi dello sviluppo: uova, larve, pupe e adulti. La scelta delle specie dipende da disponibilità locale, tradizioni e ambiente. Pur mancando stime affidabili sui volumi consumati, la letteratura offre un quadro sulla diversità delle specie edibili e sulle mappe culturali del consumo.

Tra le specie più consumate, a livello globale, possiamo trovare le seguenti: Coleoptera rappresentano il 31% delle specie edibili, ciò è dovuto, in parte, al fatto che questo gruppo comprende circa il 40% delle specie conosciute. A seguire troviamo: Lepidoptera al 18%, Hymenoptera, al terzo posto con il 14% delle specie consumate, Orthoptera con un 13% e Hemiptera rappresentanti il 10%. Inoltre, possiamo trovare altri ordini facenti parte di un gruppo più ristretto ma comunque significativo a livello globale: Isoptera (3%), Odonata (3%) e, infine, Diptera (2%). (van Huis et.al, 2013) (Figura 1).

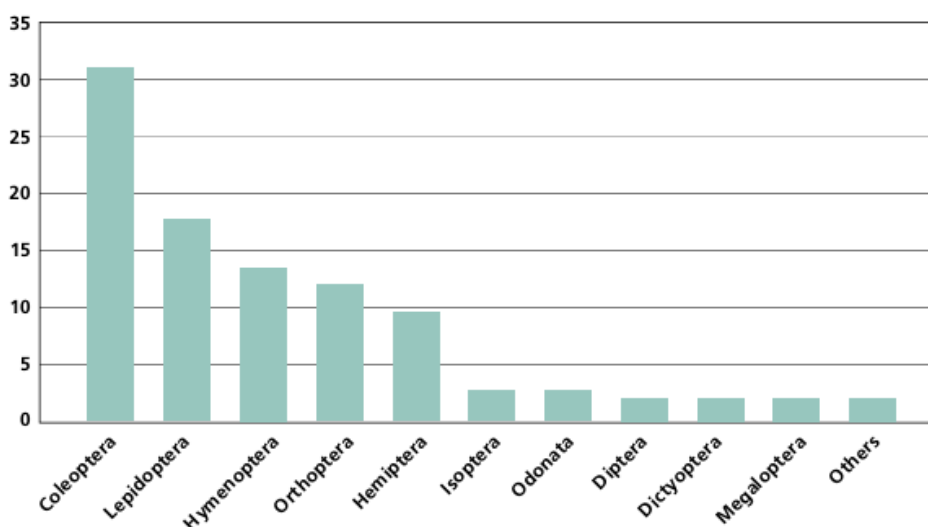


Figura 1 Grafico degli ordini di insetti più consumate

L'ordine degli insetti più consumati varia notevolmente in base alla collocazione geografica e alla comunità di riferimento. Scendendo nel dettaglio, l'Africa ha una lunga storia di tradizioni legate al consumo di insetti: si stima che in tutto il territorio siano state identificate circa 250 specie commestibili. Ad esempio, nella Repubblica Centrafricana sono consumate circa 96 specie di insetti. In questo contesto, gli Ortoteri (locuste e cavallette) rappresentano il gruppo più consumato (40%), seguiti da Lepidotteri (bruchi) con il 36%, Isotteri (termiti) con il 10%, Coleotteri con il 6% e altri ordini, con l'8% (van Huis et al., 2013). In Zambia, i bruchi Mopane *Gonimbrasia belina* (Westwood, 1849) (Lepidoptera: Saturniidae), vengono ampiamente consumati durante i “mesi della fame” (da novembre a febbraio) come unica ed importante fonte di nutrimento a causa della scarsità di altre fonti di cibo come funghi o frutta (Van Huis et al., 2013).

In Sud America, più precisamente in Amazonia, vengono consumate più di 200 specie di insetti edibili, in particolare dalle popolazioni indigene. In Ecuador, esiste una vera e propria pratica tradizionale legata al consumo di insetti nata nelle Ande dell'Amazonia: la specie più consumata appartiene all'ordine Diptera, seguita da specie come Hymenoptera, Lepidoptera, Odonata, Hemiptera e Orthoptera. In Venezuela è molto diffusa la larva di *Rhynchophorus palmarum* (L.) (Coleoptera: Curculionidae), chiamato “verme delle palme”, che raccolto dopo l'abbattimento dell'albero ospite. In questo continente, il Messico detiene il primato per il consumo di insetti; infatti, ne vengono consumate centinaia di specie, tra le quali le più diffuse sono le uova di Hemiptera acquatici (conosciute come “caviale messicano”) e la larva della farfalla gigante *Aegiale hesperiaris* (Walker, 1856) (Lepidoptera: Hesperidae), anche chiamata verme bianco dell'agave.

In Australia, l'aridità del territorio, l'imprevedibilità delle piogge e l'esistenza di vaste aree interne lontane da fonti d'acqua hanno favorito il mantenimento, in alcune zone, di abitudini alimentari tradizionali, come il consumo stagionale di insetti degli ordini dei Lepidoptera, Coleoptera e Hymenoptera.

In Asia, tra Sud-Est e subcontinente indiano, l'uso di insetti è sia alimentare sia medico-tradizionale: i più consumati appartengono agli ordini dei Coleoptera, Lepidoptera, Orthoptera, Hymenoptera e Hemiptera. Ad esempio, i “vermi di bambù” *Omphisa fuscidentalis* (Hampson, 1896) (Lepidoptera: Crambidae) sono un cibo di strada molto popolare in Thailandia, Laos e Vietnam. Il calabrone gigante asiatico *Vespa mandarinia* (Smith, 1852) (Hymenoptera: Vespidae) è stato tradizionalmente allevato e parzialmente addomesticato dalle popolazioni tribali del Nagaland (India nord-orientale) per uso alimentare e medicinale. In Cina si rileva una grande differenza fra le pratiche alimentari delle aree urbane dove il consumo di insetti non è più così diffuso come nelle aree rurali.

Sebbene ad oggi siano documentati i benefici sociali, economici, ambientali e nutrizionali dell'utilizzo degli insetti nella dieta alimentare, soprattutto in sostituzione di altri prodotti proteici (van Huis et al., 2013), la società occidentale considera generalmente gli insetti come cibo di emergenza, di basso prestigio e specifico dei Paesi in via di sviluppo.

In Europa, infatti, il consumo tradizionale di insetti è piuttosto limitato: un raro esempio di prodotto alimentare tradizionale che coinvolge insetti è il formaggio con larve di mosca del formaggio, noto come Casu marzu, tipico della Sardegna. Questo formaggio contiene larve vive della mosca *Piophilidae* *casei* L. (Diptera: Piophilidae), responsabili della fermentazione che ne conferisce la consistenza cremosa e il sapore intenso. (Brescia, 2016)

Negli ultimi anni si sta registrando un crescente interesse, soprattutto in alcuni Paesi del nord come i Paesi Bassi, dove ristoranti e attività gastronomiche innovative hanno iniziato a introdurre insetti nei menù, anche grazie all'entrata in vigore della normativa sui Novel Food (Regolamento UE 2015/2283), che ha permesso l'autorizzazione al commercio di specifiche specie, previa valutazione dell'EFSA.

1.4 Morfologia degli insetti edibili

Attualmente, tra le specie autorizzate dall'EFSA per il consumo umano rientrano: *Acheta domesticus*, *Tenebrio molitor*, *Locusta migratoria* e *Alphitobius diaperinus*. Ognuna di queste specie possiede caratteristiche morfologiche e biologiche che ne influenzano l'allevamento e l'utilizzo alimentare.

Considerare questi aspetti e le diverse fasi del loro ciclo di vita, aiuta a capire come queste specie si comportano in allevamento e quali opportunità possano offrire come fonte proteica sostenibile

Acheta domesticus L. (Orthoptera: Gryllidae) o Grillo del focolare



Figura 2 Esempio adulto di *Acheta domesticus*

Il suo ciclo è composto di tre stadi: uovo, ninfa e adulto.

L'uovo di *A. domesticus* presenta una colorazione giallastra e una forma allungata con un'estremità appuntita, le cui dimensioni variano dalla ovideposizione (2.53 mm di lunghezza e 0.75 mm di larghezza) alla schiusa (3.32 mm di lunghezza e 0.99 mm di larghezza). L'incubazione avviene a

30° per una durata di 16 giorni. Dal decimo giorno, il corion traslucido rivela gli abbozzi degli occhi e la simmetria embrionale. Al dodicesimo giorno, si osservano pigmentazione avanzata, metameria e la visibilità dei cerci. L'avanzamento dell'età comporta progressivi aumenti di peso, lunghezza e appendici. Un marcato dimorfismo sessuale è visibile dopo la maturità, con femmine generalmente più pesanti, lunghe e con dimensioni femorali superiori ai maschi, specialmente negli stadi intermedi e geriatrici. Le antenne mostrano un incremento della lunghezza con l'età, suggerendo un potenziale meccanismo compensativo per il declino della mobilità. Il volume femorale e l'area della sezione trasversale aumentano con l'età, indicando un rinforzo strutturale. (Douan 2021, Liao et.al 2025, Sturm 2012).

Alphitobius diaperinus (Panzer, 1797) (Coleoptera: Tenebrionidae) o Verme della farina minore

A.diaperinus è un insetto originario dell'Africa subsahariana, successivamente diffuso a livello globale a causa dell'agricoltura intensiva.

Gli adulti misurano circa 6–8 mm di lunghezza, con un corpo ovale, duro, e di colore marrone scuro o nero. Le larve sono ampiamente utilizzate a scopo alimentare, hanno una forma allungata e cilindrica, l'esoscheletro presenta una colorazione giallo marrone ed è molto resistente (Dunford & Kaufman, 2006).

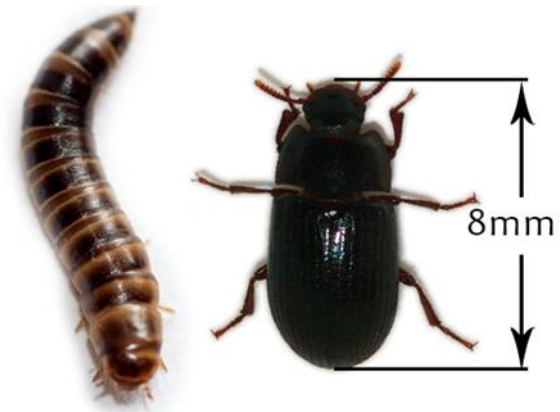


Figura 3 Stadio larvale e adulto di *Alphitobius diaperinus*

Le femmine depongono fino a 200-400 uova per ogni ciclo riproduttivo utilizzando substrati organici sciolti come lettiera o mangimi.

Questa specie è sinantropica, ovvero vive in stretta associazione con ambienti frequentati dall'uomo. Si trova comunemente nei pollai, dove si nutre di mangimi sparsi, lettiera e residui organici, ma è presente anche in magazzini di stoccaggio, mangimifici e altre strutture agricole. La sua capacità di proliferare in ambienti ricchi di sostanze organiche lo rende un insetto interessante anche per l'allevamento industriale in ambito zootecnico e per il riciclo dei rifiuti organici (van Huis et al., 2013).

Locusta migratoria L. (Orthoptera: Acrididae)



Figura 4 Esemplare adulto di *Locusta migratoria*

Questa specie presenta un polimorfismo di fase, ovvero assume aspetti diversi a seconda della densità della popolazione. Questi insetti vivono due fasi: solitaria e gregaria.

Durante la fase solitaria, gli individui sono isolati e innocui, il corpo presenta una colorazione verde o marrone con macchie scure, il pronoto è convesso e il femore posteriore è lungo.

Nella fase gregaria, gli individui si aggregano in sciame numerosi e potenzialmente dannosi per l'agricoltura. Si presentano con corpi giallo-arancio o marrone-rossiccio e macchie nere e bianche, il pronoto è piatto o leggermente concavo e il femore più corto. Le ali posteriori sono trasparenti, con sfumature giallastre, mentre le tibie posteriori hanno riflessi rossastri.

In generale la *Locusta migratoria* è un insetto di grandi dimensioni: le femmine misurano circa 35-50 mm e i maschi circa 30-40 mm

La femmina depone da una a tre ooteche, ciascuna contenente 40–110 uova, a seconda delle condizioni ambientali e della fase in cui si trova. La maturazione sessuale avviene rapidamente, e le prime uova possono essere deposte già 15 giorni dopo l'ultima muta. Gli adulti vivono fino a 3 mesi. (Lecoq 2019).

Tenebrio molitor L. (Tenebrionidae, Coleoptera) o Verme della farina

Lo stadio adulto di *T. molitor* presenta una colorazione marrone scuro, misura circa 15 mm di lunghezza e infesta i prodotti alimentari immagazzinati.

Si nutre di prodotti vegetali e danneggia la loro massa totale e il loro valore nutritivo. È una specie altamente infestante anche tramite escrementi.



Figura 5 Stadio adulto e larvale di *Tenebrio molitor*

La femmina depone uova ovoidali, allungate, ricoperte da una sostanza appiccicosa con cui attacca le uova al substrato.

Una larva è lunga 25-35 mm di color crema. Una singola femmina può deporre fino a 500 uova a temperatura ottimale di incubazione (25°C - 27°C). Con l'aumento della temperatura, la schiusa può essere accelerata. Le larve si nutrono in profondità nei prodotti, evitando la luce del sole (Vommaro 2021).

Capitolo 2: Normativa sulla commercializzazione degli insetti edibili

2.1 Regolamento (CE) n. 258/97 sui “Novel Food”

L'introduzione degli insetti edibili nel mercato europeo ha comportato l'evoluzione normativa attraverso un iter articolato, con l'intento di innovare il settore agroalimentare, tutelando allo stesso tempo i consumatori.

Il primo riferimento normativo è rappresentato dal Regolamento (CE) n. 258/97, entrato in vigore il 15 maggio 1997.

Gli articoli 1 e 3 del regolamento definiscono il concetto di *novel food* come l'insieme di quei prodotti non utilizzati in misura significativa nell'Unione Europea prima del 15 maggio 1997. Il regolamento autorizzava l'immissione in commercio di questi prodotti previa autorizzazione, ma mantenendo costante la tutela del consumatore dai rischi sanitari, frodi e svantaggi nutrizionali rispetto ad altri alimenti.

Questo Regolamento è stato al centro di svariate critiche, soprattutto per l'ambiguità nella definizione di novel food e per le lacune legislative che hanno conseguentemente creato difficoltà applicative per le imprese. Andando nello specifico, le procedure previste dall'UE potevano risultare in contrasto con le regole internazionali dell'OMC - Organizzazione Mondiale del Commercio - che disciplina il commercio globale tra le nazioni. In particolare, sono stati sollevati dubbi in merito alla conformità con l'Accordo SPS (Agreement on the Application of Sanitary and Phytosanitary Measures), il quale punta a garantire che le misure per la sicurezza alimentare e la protezione della salute animale e vegetale non siano né discriminatorie né troppo restrittive per raggiungere il livello di protezione desiderato. Le modalità previste per l'introduzione di alimenti da Paesi terzi, infatti, erano considerate particolarmente onerose, tanto da costituire una barriera commerciale (Volpato, 2015).

2.2 L'evoluzione normativa: dal Regolamento 258/97 al Regolamento (UE) 2015/2283

Il Regolamento (UE) 2015/2283, entrato in vigore il 1° gennaio 2018, è stato introdotto con l'obiettivo di migliorare la gestione della commercializzazione dei nuovi alimenti (novel food) nell'Unione Europea. Gli scopi principali del regolamento sono: la libera circolazione degli alimenti, un aumento nella tutela della salute umana, la protezione degli interessi dei consumatori e la promozione dell'innovazione tecnologica nel settore alimentare.

Rispetto al precedente Regolamento 258/97, il nuovo testo introduce significativi cambiamenti quali ad esempio: una procedura unica per tutta l'UE, la definizione aggiornata di novel food, la creazione

di un elenco ufficiale dei novel food approvati dalla Commissione Europea, con una valutazione più veloce da parte dell'EFSA (Autorità Europea per la Sicurezza Alimentare) e la tutela dei dati dell'operatore che ottiene l'autorizzazione.

Con il nuovo regolamento, la Commissione Europea, andando a sostituire la precedente gestione decentralizzata, assume un ruolo centrale nella procedura di autorizzazione: sarà la Commissione stessa che riceverà l'invio della procedura e che si occuperà della valutazione (Bonora, 2016).

Nonostante queste innovazioni legislative, l'introduzione degli insetti edibili in Europa, e in particolare in Italia, ha continuato comunque ad incontrare ostacoli sia di natura legale che culturale. Pur aderendo al regolamento europeo, infatti l'Italia ha continuato a adottare un approccio prudente nei confronti della commercializzazione degli insetti edibili.

2.3 L'EFSA e gli Insetti Edibili

L'EFSA – European Food Safety Authority – è stata istituita nel 2002: fornisce consulenze scientifiche imparziali sui rischi alimentari e collabora con esperti e autorità nazionali ed internazionali per garantire la sicurezza nella filiera alimentare.

Nel 2015, l'EFSA si è espressa in merito al tema della produzione e del consumo degli insetti edibili, scendendo nel dettaglio di diversi aspetti di seguito riassunti. Per quanto riguarda il substrato alimentare, rileva criticità in termini di sicurezza, in quanto si può verificare con frequenza la presenza di contaminanti biologici, chimici e ambientali (ad esempio, bioaccumulo di metalli pesanti). I rischi microbiologici sono legati alla presenza di batteri patogeni negli insetti non trattati, come ad esempio *Salmonella*, *Campylobacter* ed *Escherichia coli*. Per quanto riguarda l'allergenicità, è stato osservato che il consumo di insetti può provocare reazioni allergiche in soggetti predisposti: per questo motivo, le etichette dei prodotti devono riportare specifiche avvertenze relative a tali rischi. In tema di accumulo dei metalli pesanti, alcune specie di insetti possono accumulare metalli pesanti (ad es. cadmio) dai substrati alimentari. L'impatto ambientale degli allevamenti di insetti è differente rispetto a quella di altri sistemi di produzione animale, ma la gestione dei rifiuti derivanti da tali produzioni dovrebbe seguire strategie analoghe a quelle adottate in altri settori agricoli.

Inoltre, l'EFSA ha valutato e approvato l'uso di diverse specie di insetti a scopo alimentare attraverso autorizzazioni specifiche, in riferimento a numerosi regolamenti come:

- il Regolamento (UE) 2017/2470 del 5 dicembre 2021 che ha autorizzato la commercializzazione della *Locusta migratoria*;

- il Regolamento (UE) 2025/89 del 1° febbraio 2025 che ha previsto la commercializzazione di polvere trattata con UV derivante da larve di *Tenebrio molitor*;
- il Regolamento (UE) 2023/58 del 5 gennaio 2023 che ha autorizzato la commercializzazione di larve di *Alphitobius diaperinus*;
- il Regolamento (UE) 2022/188, adottato il 10 febbraio 2022, che ha autorizzato l'immissione sul mercato del *Acheta domesticus* nelle forme congelata, essiccata e in polvere. Successivamente, con il Regolamento (UE) 2023/5 della Commissione del 3 gennaio 2023, è stata estesa l'autorizzazione alla polvere parzialmente sgrassata di *Acheta domesticus*.

In generale, tali regolamenti stabiliscono che, se adeguatamente prodotti e sottoposti a rigorose procedure di valutazione, gli alimenti a base di insetti possono essere considerati sicuri, pur richiedendo un'attenta etichettatura ed approfonditi studi, in particolare riguardo l'allergenicità.

2.4 Autorizzazione di un Novel Food in Europa

L'immissione sul mercato di un novel food nell'Unione Europea è regolata dal Regolamento (UE) 2015/2283, che prevede due procedure distinte: la procedura ordinaria (art. 10) applicabile ai novel food derivanti da innovazione tecnologica e la procedura semplificata di notifica (art. 14) rivolta ad alimenti già consumati nei Paesi terzi, previa verifica della "storia di uso sicuro".

Nella procedura ordinaria, la documentazione deve includere l'identificazione del richiedente, il nome e la descrizione del nuovo alimento, la descrizione dettagliata del processo produttivo, la composizione e le caratteristiche del prodotto, le evidenze scientifiche a supporto della sicurezza alimentare, i metodi di analisi (se applicabili), le condizioni d'uso e requisiti di etichettatura. L'EFSA, su richiesta della Commissione, valuta la sicurezza del prodotto e rilascia un parere entro 9 mesi. Se il parere è positivo, la Commissione adotta un atto di esecuzione per aggiornare l'elenco dei novel food autorizzati. In casi diversi, la Commissione può interrompere la procedura, motivando il rifiuto in base ai pareri degli Stati membri e dell'EFSA. Il richiedente ha la facoltà di ritirare la domanda in ogni momento, con conseguente cessazione della procedura.

Questa procedura è finalizzata a garantire che i novel food immessi nel mercato dell'UE siano conformi ai requisiti di sicurezza e trasparenza.

2.5 Procedura di Notifica degli Alimenti Tradizionali da Paesi Terzi

Il Regolamento (UE) 2015/2283 stabilisce anche le modalità per la notifica degli alimenti tradizionali provenienti da Paesi terzi, al fine di garantire la sicurezza alimentare e la protezione della salute

pubblica, facilitandone l'accesso al mercato europeo. Al fine della notifica, sono rilevanti numerosi elementi, fra i quali:

- a. definizione di Alimento Innovativo, escludendo le categorie specificate per gli alimenti tecnologicamente innovativi;
- b. storia di Uso Sicuro, tramite una documentazione attestante un uso sicuro dell'alimento per almeno 25 anni in un Paese terzo, con evidenze documentali sulla composizione e sul consumo continuativo da parte di un numero significativo di persone;
- c. documentazione, ossia un dossier tecnico completo presentato dal richiedente, che al suo interno includa dati amministrativi, tecnici e scientifici (ad es., composizione, condizioni d'uso, ecc.), con particolare attenzione alla dimostrazione della storia di uso sicuro.

La Commissione Europea esamina la domanda, la condivide con gli Stati membri e con l'EFSA per un'ulteriore valutazione. In assenza di obiezioni, l'alimento può essere autorizzato. L'EFSA è poi chiamata a valutare la riservatezza dei dati presentati, stabilendo se e in che misura tali informazioni debbano essere mantenute confidenziali, in ragione dei rischi per il mercato competitivo.

In conclusione, si può affermare che le linee guida dell'EFSA offrono un prezioso supporto alle imprese per l'introduzione nel mercato di alimenti innovativi, richiedendo la presentazione di prove solide (pubblicazioni scientifiche, documenti governativi, ecc.) che attestino il consumo sicuro dell'alimento nella regione di origine, facendosi garanti della circolazione del cibo innovativo in maniera sicura per la popolazione.

Capitolo 3: Aspetti nutraceutici

Gli insetti edibili sono stati introdotti in molti paesi come alternativa alla carne, poiché rappresentano una fonte importante di proteine e lipidi. Tuttavia, la quantità di questi nutrienti varia in base a diversi fattori, tra cui la specie, lo stadio di sviluppo, le condizioni di allevamento e l'alimentazione. C'è una notevole variazione nella composizione di macro e micronutrienti tra le diverse specie e anche all'interno della stessa specie, grazie anche all'influenza di fattori esterni come la dieta e le modalità di lavorazione. In particolare, l'alimentazione degli insetti ha un impatto significativo sul loro profilo nutraceutico: la qualità e la composizione della dieta somministrata agli insetti influenzano, non solo il contenuto proteico e lipidico, ma anche la presenza di composti bioattivi come vitamine, minerali, acidi grassi essenziali e antiossidanti. Ad esempio, insetti alimentati con substrati ricchi in omega-3, come semi di lino o alghe, tendono a presentare un contenuto lipidico più favorevole alla salute umana. Allo stesso modo, diete arricchite con determinati micronutrienti possono aumentare significativamente la quantità di ferro, zinco o vitamina B12 nei tessuti degli insetti.

3.1 I macronutrienti

Valore energetico

Gli insetti, a seconda dei fattori precedentemente esposti, hanno un contenuto energetico compreso tra 293 e 762 kcal/100 g su base secca. Nella tabella 1 sono riportati alcuni esempi:

Tabella 1: rappresentante il valore energetico di diverse specie di insetti

Location	Common name	Scientific name	Energy content (kcal/100 g fresh weight)
Australia	Australian plague locust, raw	<i>Chortoicetes terminifera</i>	499
Australia	Green (weaver) ant, raw	<i>Oecophylla smaragdina</i>	1 272
Canada, Quebec	Red-legged grasshopper, whole, raw	<i>Melanoplus femurrubrum</i>	160
United States, Illinois	Yellow mealworm, larva, raw	<i>Tenebrio molitor</i>	206
United States, Illinois	Yellow mealworm, adult, raw	<i>Tenebrio molitor</i>	138
Ivory Coast	Termite, adult, dewinged, dried, flour	<i>Macrotermes subhyalinus</i>	535
Mexico, Veracruz State	Leaf-cutter ant, adult, raw	<i>Atta mexicana</i>	404
Mexico, Hidalgo State	Honey ant, adult, raw	<i>Myrmecocystus melliger</i>	116
Thailand	Field cricket, raw	<i>Gryllus bimaculatus</i>	120
Thailand	Giant water bug, raw	<i>Lethocerus indicus</i>	165
Thailand	Rice grasshopper, raw	<i>Oxya japonica</i>	149
Thailand	Grasshopper, raw	<i>Cyrtacanthacris tatarica</i>	89
Thailand	Domesticated silkworm, pupa, raw	<i>Bombyx mori</i>	94
The Netherlands	Migratory locust, adult, raw	<i>Locusta migratoria</i>	179

Source: FAO, 2012f.

Proteine

Il contenuto proteico è uno dei motivi principali per cui gli insetti commestibili sono considerati una valida alternativa ad altre fonti di origine animale e vegetale. In termini generali, contengono circa tra il 35% e il 77% di proteine, facilmente digeribili. In generale, gli insetti presentano un'ampia gamma di aminoacidi leucina, lisina, valina, treonina, fenilalanina e istidina. La maggior parte degli ordini contiene tutti gli aminoacidi essenziali, che rappresentano dal 46% al 96% del totale, insieme agli aminoacidi non essenziali. Il contenuto proteico, soggetto a variazioni in base al tipo di dieta e alla fase di metamorfosi, è simile a quello di maiale e manzo, variando da 40 a 75 g/100 g di peso secco. Un altro aspetto da considerare è la digeribilità delle proteine, alcune specie come *Macrotermes subhyllanus* (Rambur, 1842) (Blattodea, Termitidae) e *Ruspolia differens* (Serville, 1838) (Orthoptera, Tettigoniidae) hanno una percentuale di digeribilità che varia dal 76,3 % al 90,5 %. (Rivas-Navia et al., 2023).

Tabella 2: Quantità di proteine di insetti, rettili e mammiferi

Comparison of average protein content among insects, reptiles, fish and mammals			
Animal group	Species and common name	Edible product	Protein content (g/100 g fresh weight)
Insects (raw)	Locusts and grasshoppers: <i>Locusta migratoria</i> , <i>Acridium melanorhodon</i> , <i>Ruspolia differens</i>	Larva	14–18
	Locusts and grasshoppers: <i>Locusta migratoria</i> , <i>Acridium melanorhodon</i> , <i>Ruspolia differens</i>	Adult	13–28
	<i>Sphenarium purpurascens</i> (chapulines – Mexico)	Adult	35–48
	Silkworm (<i>Bombyx mori</i>)	Caterpillar	10–17
	Palmworm beetles: <i>Rhynchophorus palmarum</i> , <i>R. phoenicis</i> , <i>Callipogon barbatus</i>	Larva	7–36
	Yellow mealworm (<i>Tenebrio molitor</i>)	Larva	14–25
	Crickets	Adult	8–25
	Termites	Adult	13–28
Cattle		Beef (raw)	19–26
Reptiles (cooked)	Turtles: <i>Chelodina rugosa</i> , <i>Chelonia depressa</i>	Flesh	25–27
		Intestine	18
		Liver	11
		Heart	17–23
		Liver	12–27
Fish (raw)	Finfish	Tilapia	16–19
		Mackerel	16–28
		Catfish	17–28
	Crustaceans	Lobster	17–19
		Prawn (Malaysia)	16–19
		Shrimp	13–27
	Molluscs	Cuttlefish, squid	15–18

Source: FAO, 2012f.

Lipidi

Dopo le proteine, i grassi sono il macronutriente più rappresentativo degli insetti. Il contenuto di grassi dipende da una combinazione di fattori come il tipo di specie, il sesso, lo stadio di riproduzione, lo stadio di sviluppo, la temperatura ambientale, i substrati alimentari, l'origine geografica e i metodi di lavorazione, nonché da fattori biologici, tra cui l'attività enzimatica. In termini generali, la quantità di grassi totali negli insetti essiccati è compresa tra il 10 e il 50 g/100 g (peso secco).

Ad esempio, le larve di *Tenebrio molitor* hanno mostrato un contenuto di grassi di 10,4% su base fresca e 34,5% su peso secco. Questo contenuto di grassi è simile ad altre fonti di carne convenzionali. Il contenuto lipidico degli insetti comprendente fosfolipidi, trigliceridi, steroli, cere e vitamine liposolubili. Tuttavia, la maggior parte del grasso è costituita da fosfolipidi e trigliceridi, questi ultimi rappresentando la maggior parte del contenuto lipidico.

La composizione di acidi grassi (FA), invece, comprende: acidi grassi saturi (SFA), monoinsaturi (MUFA) e polinsaturi (PUFA).

Gli Acidi Grassi Saturi (SFA) includono l'acido palmitico (C16:0), l'acido stearico e l'acido arachidico. Tra questi, l'acido palmitico è il più abbondante.

Gli Acidi Grassi Monoinsaturi (MUFA) includono l'acido miristoleico, l'acido palmitoleico e l'acido oleico (C18:1 n-9), quest'ultimo è molto presente negli insetti. Nelle larve di *T. molitor* studiate, i MUFA (41,0%) sono particolarmente abbondanti, con l'acido oleico che rappresentava il 37,8% dei FA totali.

Infine, gli Acidi Grassi Polinsaturi (PUFA) sono di grande importanza, in quanto ne fanno parte gli acidi grassi essenziali (EFA) n-6 (acido linoleico) e n-3 (acido α -linolenico).

Nelle larve di *T. molitor*, l'acido linoleico era il componente principale dei PUFA, rappresentando il 33,2% dei FA totali. Questa percentuale è circa il doppio di quella riportata per il maiale e il pollo e dieci volte superiore a quella del manzo. (Costa, 2020) (Kolobe et al., 2023)

Tabella 3: Confronto sul contenuto di acidi grassi delle diverse specie di insetti edibili in Cameroon

Fat content and randomly selected fatty acids of several edible insect species consumed in Cameroon			
Edible insect species	Fat content (% of dry matter)	Composition of main fatty acids (% of oil content)	SFA, MUFA or PUFA1
African palm weevil (<i>Rhynchophorus phoenicis</i>)	54%	Palmitoleic acid (38%)	MUFA
		Linoleic acid (45%)	PUFA
Edible grasshopper (<i>Ruspolia differens</i>)	67%	Palmitoleic acid (28%)	MUFA
		Linoleic acid (46%)	PUFA
		α -Linolenic acid (16%)	PUFA
Variegated grasshopper (<i>Zonocerus variegates</i>)	9%	Palmitoleic acid (24%)	MUFA
		Oleic acid (11%)	MUFA
		Linoleic acid (21%)	PUFA
		α -Linolenic acid (15%)	PUFA
		γ -Linolenic acid (23%)	PUFA
Termites (<i>Macrotermes</i> sp.)	49%	Palmitic acid (30%)	SFA
		Oleic acid (48%)	MUFA
		Stearic acid (9%)	SFA
Saturniid caterpillar (<i>Imbrasia</i> sp.)	24%	Palmitic acid (8%)	SFA
		Oleic acid (9%)	MUFA
		Linoleic acid (7%)	PUFA
		α -Linolenic acid (38%)	PUFA

Note: 1SFA – saturated fatty acids; MUFA and PUFA – mono and poly unsaturated fatty acids.

Source: Womeni et al., 2009.

3.2 I micronutrienti

I micronutrienti, tra cui minerali e vitamine, svolgono un ruolo importante nel valore nutrizionale degli alimenti. Inoltre, i contenuti di minerali e vitamine degli insetti commestibili descritti in letteratura sono molto variabili tra specie e ordini. Il consumo dell'intero corpo dell'insetto generalmente eleva il contenuto nutrizionale.

I minerali

I minerali svolgono un ruolo importante nei processi biologici. La maggior parte degli insetti commestibili vanta un contenuto di ferro uguale o superiore a quello della carne bovina (Bukkens, 2005). Ad esempio, il contenuto di ferro di *Gonimbrasia belina* (Westwood, 1849) (Lepidoptera: Saturniidae), è di 31-77 mg per 100 g. Nelle locuste (*Locusta migratoria*) varia tra 8 e 20 mg per 100 g di peso secco, a seconda della dieta (Oonincx et al., 2010).

Gli insetti commestibili sono innegabilmente fonti ricche di ferro e la loro inclusione nella dieta quotidiana potrebbe migliorare lo stato del ferro e aiutare a prevenire l'anemia. Partendo dal presupposto che l'OMS ha segnalato la carenza di ferro come il disturbo nutrizionale più comune e diffuso al mondo, questo tipo di alimentazione potrebbe essere una risorsa contro i problemi di deprivazione alimentare delle popolazioni più povere. A questo si aggiunge che anche la carenza di

zinco è un altro problema fondamentale per la salute pubblica, soprattutto per la salute infantile e materna. Le carenze di zinco possono portare a ritardo della crescita, ritardo della maturazione sessuale e ossea, lesioni cutanee, diarrea, alopecia, alterazione dell'appetito e aumento della suscettibilità alle infezioni mediate da difetti del sistema immunitario. In generale, si ritiene che la maggior parte degli insetti sia una buona fonte di zinco. Ad esempio, le larve di punteruolo delle palme *Rhynchophorus phoenicis* (Fabricius, 1801) (Coleoptera: Curculionidae) ne contengono 26,5 mg per 100 g (Bukkens, 2005).

Tabella 4: Confronto del fabbisogno giornaliero di minerali e le quantità presenti in *Imbrasia belina*

Recommended intake of essential minerals per day compared with the mopane caterpillar (<i>Imbrasia belina</i>)		
Mineral	Intake recommendation for 25-year-old males (mg per day)*	Mopane caterpillar (mg per 100 g dry weight)
Potassium	4 700	1 032
Chloride	2 300	—
Sodium	1 500	1 024
Calcium	1 000	174
Phosphorus	700	543
Magnesium	400	160
Zinc	11	14
Iron	8	31
Manganese	2.3	3.95
Copper	0.9	0.91
Iodine	0.15	—
Selenium	0.055	—
Molybdenum	0.045	—

Note: * Dietary reference intakes (DRIs): recommended dietary allowances and adequate intakes, minerals, Food and Nutrition Board, Institute of Medicine, National Academies.
Source: Bukkens, 2005.

Vitamine

Le vitamine essenziali per stimolare i processi metabolici e migliorare le funzioni del sistema immunitario sono presenti nella maggior parte degli insetti commestibili. Bukkens (2005) ha dimostrato per un'intera gamma di insetti che la tiamina (nota anche come vitamina b1, una vitamina essenziale che agisce principalmente come coenzima per metabolizzare i carboidrati in energia) varia da 0,1 mg a 4 mg per 100 g di sostanza secca. La riboflavina (nota anche come vitamina b2) varia da 0,11 a 8,9 mg per 100 mg. In confronto, il pane integrale fornisce rispettivamente 0,16 mg e 0,19 mg per 100 g di b1 e b2. La vitamina b12 è presente solo negli alimenti di origine animale ed è ben rappresentata nelle larve di verme della farina, *Tenebrio molitor* (0,47 µg per 100 g) e nei grilli domestici, *Acheta domesticus* (5,4 µg per 100 g negli adulti e 8,7 µg per 100 g nelle ninfe).

Il retinolo e il β-carotene (vitamina a) sono stati rilevati in alcuni bruchi, tra cui *Imbrasia oyemensis* (Rougeot, 1955), *I. truncata* (Aurivillius, 1908) e *I. epimethea* (Drury, 1773) (Lepidoptera: Saturniidae); i valori variavano da 32 µg a 48 µg per 100 g e da 6,8 µg a 8,2 µg per 100 g di sostanza

secca rispettivamente per il retinolo e il β -carotene. I livelli di queste vitamine erano inferiori a 20 μ g per 100 g e inferiori a 100 μ g per 100 g nelle larve di verme giallo della farina, in *Zophobas atratus* (Fabricius, 1775) (Coleoptera: Tenebrionidae) e nei grilli domestici (Finke, 2002; Bukkens, 2005; Oonincx e Poel, 2011).

Fibre

Gli insetti contengono quantità significative di fibre, misurate in fibra grezza, fibra detergente acida e fibra detergente neutra. La forma più comune di fibra negli insetti è la chitina, una fibra insolubile derivata dall'esoscheletro. Finke (2007) ha stimato il contenuto di chitina delle specie di insetti allevate commercialmente come cibo per animali e ha scoperto che varia da 2,7 mg a 49,8 mg per kg (fresco) e da 11,6 mg a 137,2 mg per kg (sostanza secca).

3.3 Fattori di rischio del consumo di insetti edibili

Nonostante i loro benefici, è essenziale considerare i possibili rischi associati al consumo di insetti. Comprendere questi aspetti è fondamentale per garantire un'integrazione sicura e consapevole degli insetti nella dieta umana, promuovendo pratiche di allevamento, trasformazione e consumo che minimizzino i potenziali pericoli.

Rischi Microbiologici

I potenziali rischi biologici sono rappresentati da batteri, virus e funghi ospiti degli insetti allevati. I microrganismi patogeni per gli insetti sono invece considerati generalmente inoffensivi per l'uomo, data la distanza filogenetica tra artropodi e mammiferi.

Nel contesto HACCP, l'analisi dei rischi microbiologici è fondamentale per garantire la sicurezza degli insetti commestibili. Le principali categorie di rischi identificati riguardano la carica microbica totale, la presenza di batteri patogeni e la capacità di alcuni microrganismi di sopravvivere ai processi di trasformazione e conservazione.

Carica microbica

Gli insetti commestibili possono presentare una carica microbica totale elevata, con la predominanza di batteri gram-positivi come *Micrococcus spp.*, *Lactobacillus spp.* e *Staphylococcus spp.* Tuttavia, è dimostrato che *Salmonella spp.* e *Listeria monocytogenes* non sono state rilevate in campioni analizzati, anche se la trasmissione può avvenire tramite il substrato di allevamento. Il trattamento termico (bollitura) riduce efficacemente la presenza di *Enterobacteriaceae*, mentre la refrigerazione è necessaria per evitare il deterioramento.

Batteri sporigeni

Bacillus cereus è stato individuato in vari insetti commestibili e loro derivati, con concentrazioni che possono raggiungere livelli pericolosi per la salute umana. Le sue spore possono sopravvivere nei prodotti secchi e riattivarsi dopo la reidratazione. *Clostridium botulinum* non è stato finora rilevato negli insetti commestibili, ma le sue spore possono essere presenti nei prodotti trasformati. L'essiccazione corretta impedisce la crescita del batterio e la produzione di tossine.

Clostridium perfringens può contaminare gli insetti e le loro polveri, con rischio di proliferazione se le condizioni di conservazione non sono adeguate. (Kooh et al., 2020)

Rischi parassitari

Gli insetti possono essere vettori di parassiti, come trematodi intestinali e nematodi, rappresentando un rischio per la salute umana. Alcuni scarafaggi possono ospitare protozoi patogeni, tra cui *Giardia lamblia* e *Cryptosporidium parvum*, quest'ultimo pericoloso per individui immunocompromessi. Il consumo di insetti crudi aumenta il rischio di trasmissione di queste infezioni.

Rischi chimici

Gli insetti possono produrre sostanze tossiche (ad es. steroidi metabolici, toluene, benzochinoni, cantaridina e sostanze cianogenetiche) a scopo difensivo. Fra i più comuni rischi chimici troviamo quelli causati da pesticidi, da steroidi metabolici e metalli pesanti di cui sono affetti gli insetti che vivono in natura e che possono creare seri problemi di salute nell'uomo. Per questo motivo, gli allevamenti degli insetti devono essere altamente controllati, per ridurre al minimo i rischi chimici. (Belluco et al., 2013).

Rischi di allergia

Gli insetti rappresentano una potenziale fonte di allergeni, principalmente di natura proteica, ma anche polisaccaridica, come nel caso della chitina presente nell'esoscheletro. Reazioni di sensibilizzazione allergica sono state documentate in seguito all'inalazione di particelle di insetti, con manifestazioni a carico soprattutto del tratto respiratorio superiore, quali rinite e asma (Ganseman et al., 2023). Sono stati inoltre riportati casi di reazioni cutanee da contatto, sia in presenza di cute integra che lesionata, spesso legate all'azione abrasiva delle strutture rigide dell'esoscheletro.

Ulteriori allergie alimentari sono state documentata per numerose specie, tra cui baco da seta *Bombyx mori* L. (Lepidoptera: Bombycidae), *Tenebrio molitor*, *Bruchus lentis* (Frölich, 1799) (Coleoptera: Bruchinae), *Rhynchophorus ferrugineus* (Olivier, 1790) (Coleoptera: Curculionidae), *Tettigonia*

viridissima (Linnaeus 1758) (Orthoptera; Tettigoniidae), *Cicada orni* L. (Hemiptera: Cicadidae), *Apis mellifera* L. (Hymenoptera; Apidae), *Clanis bilineata* (Walker, 1866) (Lepidoptera: Sphingidae) e per l'additivo alimentare carminio, ottenuto dalle femmine dell'insetto *Dactylopius coccus* (Costa, 1829) (Hemiptera: Dactylopiidae) (Ganseman et al., 2023). Gli studi hanno identificato gli antigeni e le proteine leganti le Immunoglobuline E (IgE) come le principali cause di reazioni allergiche post consumo e esposizione.

La lavorazione degli alimenti può influenzare l'allergenicità: i trattamenti termici, come la scottatura, la cottura al forno e la frittura, possono alterare la struttura delle proteine, ma non sempre eliminano l'allergenicità.

D'altra parte, la fermentazione e le tecnologie enzimatiche sono state dimostrate essere efficaci nel ridurre l'allergenicità delle proteine degli insetti.

Sono necessari ulteriori studi per valutare il ruolo di altre tecnologie di lavorazione, come l'alta pressione, il riscaldamento a microonde e gli ultrasuoni, nel ridurre l'allergenicità delle proteine degli insetti. Queste tecnologie potrebbero offrire nuove opportunità per la produzione di alimenti ipoallergenici (Turini 2023).

3.4 Comparazione tra insetti edibili e prodotti animali

Composizione dei macronutrienti

Rispetto alla carne bovina, le larve di verme della farina contengono meno grassi. La carne bovina ha anche una percentuale di umidità leggermente più bassa ed è solo marginalmente superiore in termini di contenuto proteico ed energia metabolizzabile. Tuttavia, il profilo complessivo delle larve resta interessante, soprattutto considerando il rapporto tra nutrienti e impatto ambientale della loro produzione.

Amminoacidi

Il confronto tra i profili amminoacidici mostra differenze rilevanti: la carne bovina ha concentrazioni più elevate di acido glutammico, lisina e metionina (amminoacidi importanti per la crescita e la riparazione dei tessuti). Tuttavia, le larve presentano livelli maggiori di isoleucina, leucina, valina, tirosina e alanina, che giocano anch'essi un ruolo chiave nel metabolismo muscolare e nella produzione di energia.

Acidi grassi

La carne bovina contiene quantità maggiori di alcuni acidi grassi saturi, come il palmitico, lo stearico e il palmitoleico. È importante sottolineare però che i grassi polinsaturi, come quelli presenti nei vermi della farina, si trovano prevalentemente sotto forma di fosfolipidi, che sono componenti fondamentali delle membrane cellulari.

Sali minerali

Le larve contengono livelli di rame, sodio, potassio, ferro, zinco e selenio simili a quelli della carne bovina, il che le rende una buona fonte di questi minerali essenziali per molte funzioni biologiche, tra cui il metabolismo, il sistema immunitario e la salute ossea.

Vitamine

Dal punto di vista vitaminico, i vermi della farina risultano generalmente più ricchi rispetto alla carne bovina, con un'unica eccezione: la vitamina B12, presente in quantità maggiori nella carne. Questo dato è particolarmente rilevante per coloro che seguono una dieta vegetariana o vegana e potrebbero considerare gli insetti come un'integrazione alimentare (Van Huis et.al., 2013).

Fattori di crescita

Le condizioni di allevamento influenzano direttamente il valore nutrizionale delle larve. Ad esempio, secondo Behmer (2006), per crescere in modo ottimale, le larve di *Tenebrio molitor* necessitano di una dieta contenente almeno il 40% di carboidrati, ma lo sviluppo massimo si osserva con una concentrazione del 70%. Inoltre, la presenza di una fonte d'acqua migliora sensibilmente la crescita: le larve che hanno accesso all'umidità non solo crescono più velocemente, ma risultano anche più pesanti. Questa maggiore massa non è dovuta solo a un maggiore contenuto di acqua, ma anche a un aumento della percentuale di grassi nel corpo dell'insetto. Tuttavia, è importante considerare che, la qualità della dieta influisce direttamente sulla loro composizione nutrizionale.

Capitolo 4: Impatto ambientale

L'allevamento di insetti emerge nel panorama attuale come un'alternativa a più basso impatto ambientale rispetto alle filiere produttive intensive di bestiame. Gli esiti ambientali dipendono tuttavia sempre dalle specie, dalle risorse impiegate, dai substrati e dalle pratiche igieniche.

4.1 Confronto tra allevamento tradizionale e allevamento di insetti

Per bestiame si intendono animali come bovini, pollame, pecore e capre, allevati per scopi alimentari o produttivi, mentre il minibestiame include piccoli animali, tra cui invertebrati come gli insetti, allevati a scopo domestico o commerciale (Paoletti, 2005).

L'allevamento intensivo, cresciuto esponenzialmente negli ultimi decenni, è responsabile di una significativa parte delle emissioni globali di gas serra, principalmente metano (CH₄), anidride carbonica (CO₂) e protossido di azoto (N₂O): ad esempio il letame può contaminare le acque e il suolo con nutrienti, metalli pesanti e patogeni (Tilman et al., 2002). Inoltre, la gestione del letame può determinare l'emissione di grandi quantità di ammoniaca, con effetti negativi sugli ecosistemi. Allo stesso tempo, la deforestazione causata dalle creazioni di pascoli per la pastorizia contribuisce al rilascio di grandi quantità di CO₂. Il continuo aumento della richiesta alimentare con il conseguente incremento della produzione intensiva ha prodotto, e continua a produrre, costi ambientali molto alti.

Nell'analizzare la sostenibilità degli allevamenti di insetti, rispetto agli allevamenti convenzionali, è necessario tenere in considerazione:

- la specie di insetto allevata poiché ne esistono oltre 2000 specie commestibili registrate, ognuna con diverse caratteristiche ecologiche e nutrizionali;
- i tipi di mangime utilizzati in quanto l'uso di sottoprodotti agricoli o industriali per l'alimentazione degli insetti può migliorare la sostenibilità del sistema, riducendo gli sprechi alimentari e promuovendo l'uso di colture che favoriscono la biodiversità;
- la gestione dei rifiuti poiché lo smaltimento dei rifiuti derivanti dall'allevamento di insetti può essere utilizzato per arricchire il suolo;
- la posizione geografica e la progettazione degli impianti poiché l'interazione tra questi ultimi e la biologia degli insetti influisce sia sull'efficienza del sistema di allevamento sia sull'impatto ecologico locale;
- gli aspetti etici e impatti sociali, come il benessere degli insetti e le implicazioni per le imprese agricole nei paesi in via di sviluppo.

Nel complesso, l'allevamento di insetti offre vantaggi significativi in termini di efficienza nell'uso delle risorse e di riduzione dell'impatto ambientale rispetto agli allevamenti tradizionali come:

- **Riduzione delle Emissioni di Gas Serra (GHG):** Sono state analizzate le emissioni di CO₂, CH₄ (metano), N₂O (protossido d'azoto) e NH₃ (ammoniaca) di cinque specie di insetti, a diversi stadi di sviluppo, cresciuti su diversi substrati alimentari. Tra le specie scelte possiamo trovare: *Tenebrio molitor*, *Acheta domesticus*, *Locusta migratoria*, *Pachnoda marginata* (Burmeister, 1842) (Coleoptera, Cetoniidae) e *Blaptica dubia* (Serville, 1838) (Blattodea, Blaberidae). I risultati hanno evidenziato che le emissioni di gas ad effetto serra (CO₂, CH₄, N₂O) riferite al medesimo incremento ponderale erano dell'ordine dell'1% di quelle osservate per i ruminanti allevati, ciò significa che, per produrre la stessa quantità di crescita (peso) animale, i ruminanti (come bovini, pecore o capre) emettono circa 100 volte più gas serra rispetto agli insetti. Anche la produzione di NH₃ per chilogrammo di biomassa prodotta è risultata notevolmente inferiore (3-5,4 mg/kg) se comparata con i valori noti in letteratura per i suini (4,8-75 mg/kg) ed i bovini (14-170 mg/kg).
- **Efficienza di Conversione e Riduzione dei Rifiuti Alimentari:** Gli insetti mostrano una elevata efficienza di conversione alimentare (FCE).
- **Minore Pressione sulle Risorse (Acqua e Suolo):** L'allevamento di insetti viene definito, generalmente, non intensivo e richiede meno suolo. Ad esempio, il consumo di suolo (LU) per l'allevamento di coleotteri è mediamente più basso (18 m²) rispetto alla produzione di latte (33–58 m²) e di carne di pollo e maiale (41–63 m²). L'allevamento di insetti comporta un beneficio anche per il consumo idrico. La quantità d'acqua richiesta per ottenere la stessa quantità di proteine da insetti edibili sembra essere molto minore rispetto alla produzione convenzionale di proteine animali, che richiede 5-20 volte più acqua rispetto alle proteine vegetali.
- **Uso di Materiale di Scarto (Biotrasformazione):** Gli insetti possono essere alimentati con sottoprodotti, scarti e rifiuti di natura organica, contribuendo alla riduzione dei costi ambientali ed economici di smaltimento. (Fausto et.al 2015)

4.1.1 Conversione alimentare

L'efficienza di conversione alimentare (ECI) - definita come il rapporto tra il peso guadagnato e il peso del cibo ingerito moltiplicato per 100 - riflette l'efficacia con cui un organismo trasforma il mangime in biomassa. Il suo reciproco - il tasso di conversione alimentare (FCR = peso del cibo ingerito / peso guadagnato) - è ampiamente utilizzato per valutare l'efficienza produttiva.

Le ricerche hanno dimostrato notevoli differenze in questi valori tra le specie.

Partendo dagli insetti, nello studio di Nakagaki e DeFoliart (1991), il grillo domestico (*Acheta domesticus*) ha mostrato un'eccezionale efficienza. Il rapporto mangime/guadagno (FCR) per i grilli si è attestato tra 0,923 e 0,949 kg di mangime per 1 kg di peso vivo, in situazioni ottimali (diete di alta qualità, 30 °C) e un valore di ECI (calcolato su peso vivo) pari al 92%

Nelle carni da allevamento tradizionale possiamo trovare i seguenti valori di ECI (su peso vivo): polli 48%, suini 29,5%, ovini 18% e, infine, i bovini che mostrano un'efficienza inferiore, con un valore di 14.5%.

Per una valutazione completa dell'efficienza della conversione da mangime animale a cibo umano, è fondamentale considerare la percentuale di carcassa rispetto al peso vivo (dressing percentage) e gli scarti di carcassa (carcasse refuse). Scendendo nel dettaglio, nel caso di *Acheta domesticus*, le perdite sono principalmente attribuibili alle zampe (circa il 17% del peso corporeo totale) e alla fibra grezza dell'esoscheletro chitino (inferiore al 3% del peso corporeo). Sebbene l'esoscheletro non venga solitamente rimosso, la chitina è scarsamente digeribile dagli animali monogastrici. Includendo questi elementi come "rifiuto della carcassa", si può affermare che circa l'80% dell'insetto sia commestibile e utilizzabile. Nel bestiame più convenzionale vertebrato, la percentuale di vestizione e i rifiuti di carcassa (comprendenti ossa, grasso di rifinitura e tendini) riducono la porzione commestibile dell'animale macellato a circa il 50% del peso corporeo intero. Ad esempio, i polli hanno un rifiuto di carcassa del 32-35%, mentre i suini del 21-28%. In sintesi, si può affermare che per approssimazione l'ECI aggiustata su peso secco dei grilli rimane più del doppio rispetto ai polli da carne e ai suini, oltre quattro volte superiore alle pecore e quasi sei volte superiore ai bovini.

Infine, l'efficienza metabolica degli insetti è influenzata da diverse caratteristiche fisiologiche e riproduttive come, ad esempio, ectotermia e la fecondità. Per quanto riguarda il primo aspetto gli insetti sono organismi a sangue freddo e, a differenza degli animali endotermi come il bestiame convenzionale, non spendono energia significativa per mantenere una temperatura corporea costante. L'elevata efficienza di conversione alimentare nei grilli è stata osservata a temperature ambientali di circa 30°C o superiori, condizioni nelle quali il loro metabolismo è ottimizzato senza la necessità di un dispendioso mantenimento termico interno. Questo si traduce in una maggiore proporzione di energia del mangime consuma destinata alla crescita e alla produzione di biomassa. Per quanto riguarda il secondo aspetto, gli insetti hanno la caratteristica di presentare un'elevata fecondità. Ad esempio, le femmine di *Acheta domesticus* depongono in media 1.200-1.500 uova nell'arco di 3-4 settimane, dopo aver raggiunto lo stadio adulto. Questo tasso riproduttivo è notevolmente superiore

a quello dei ruminanti e dei suini, sebbene il vantaggio sia meno marcato rispetto al pollame. (Nakagaki e DeFoliart 1991)

Tabella 5: conversione alimentare di un allevamento tradizionale

Prodotto ottenuto	Mangime impiegato	
1kg insetti	1,7 kg	
1kg pollo	2,5 – 3,0 kg	
1kg pollo ruspante	6 kg	
1kg suino	3,0 kg	
1kg suino allevato al pascolo	8 kg	
1kg bovino	5 kg	
1kg bovino allevato al pascolo	10 kg	

4.1.2 Substrati alimentari per l'allevamento degli insetti

Come già affermato ad inizio capitolo, gli insetti stanno emergendo come una promettente alternativa alla produzione di proteine animali, grazie anche alla loro capacità di essere allevati su diversi tipi di sostanze organiche, inclusi gli scarti e i sottoprodotti della filiera agroalimentare. Questo aspetto si iscrive appieno in una visione di economia circolare, dove gli insetti vengono nutriti con rifiuti organici che altrimenti andrebbero smaltiti, trasformandoli in proteine destinate alla produzione di mangimi per l'alimentazione animale. In questo modo, l'intero sistema di produzione si delinea come efficiente e meno costoso, riducendo l'impatto ambientale (Veldkamp et al., 2012; Van Huis et al., 2013).

Le specie di insetti più adatte a questo tipo di allevamento sono *Hermetia illucens*, *Musca domestica* e *Tenebrio molitor*. Infatti, questi insetti sono particolarmente efficienti nella conversione di scarti organici in biomassa proteica. Ad esempio, si stima che queste specie potrebbero contribuire a convertire circa 1,3 miliardi di tonnellate di rifiuti organici ogni anno, riducendo così notevolmente l'accumulo di rifiuti e fornendo una fonte sostenibile di proteine per l'alimentazione animale (Veldkamp et al., 2012).

L'efficienza con cui gli insetti convertono il mangime in biomassa dipende anche dalla qualità del substrato utilizzato. Ad esempio, per produrre un chilogrammo di biomassa larvale di *Hermetia illucens*, sono necessari: 4,16 kg di mangime di alta qualità (come quello utilizzato per i polli) oppure 6,28 kg di bucce di patate, o ancora 7,25 kg di grani residui dalla produzione di birra o 14,5 kg di alimenti scaduti provenienti dalla vendita al dettaglio.

Inoltre, i tempi di sviluppo larvale variano in base al substrato utilizzato: ad esempio, 15 giorni con residui di birra, 18 giorni con alimenti scaduti e 35 giorni con bucce di patate (Ites et al., 2020).

Per tutto ciò che ho esposto finora, si evince come la preparazione del substrato alimentare è un elemento cruciale nell'allevamento degli insetti: sono diversi i fattori da tenere in considerazione, come ad esempio il grado di umidità, poiché, tra gli altri aspetti, si è accertato la miscelazione dei substrati con acqua può migliorare significativamente le performance di crescita.

Per esemplificare come la strutturazione del substrato sia fondamentale nell'allevamento di insetti, riporto lo studio di Roffeis et al. (2018), nel quale sono stati analizzati sistemi di produzione di mangimi a base di insetti (Insect Based Food) che utilizzano substrati specifici per diverse specie. Per la mosca domestica (*Musca domestica*), sono stati impiegati due sistemi: letame di pollo essiccato e acqua e una miscela di letame di pecora essiccato, sangue fresco di ruminanti e acqua. Invece, per la mosca soldato nera (*Hermetia illucens*), il sistema FfA (Fish for Africa, organizzazione non governativa) utilizza una combinazione di residui di birra freschi (solidi e ricchi di proteine derivanti dalla fermentazione dei grani), letame di pollo e acqua. Questo studio ha evidenziato che l'uso di substrati ad alto contenuto energetico e proteico (come il sangue di ruminanti o i residui freschi di birreria) aumenta l'efficienza di conversione alimentare. Invece, i sistemi con bassa efficienza di conversione (miscela di letame di pollo essiccato e acqua) producono più substrato residuo, che può essere venduto come fertilizzante organico.

In altri contesti, come nel caso del trattamento di rifiuti alimentari per l'allevamento di *Hermetia illucens*, è necessario inoltre un processo di pretrattamento che include la separazione manuale dei componenti non organici dai rifiuti alimentari, la triturazione dei rifiuti organici per preparare il substrato e il posizionamento del substrato in contenitori perforati per drenare l'acqua in eccesso, riducendo l'umidità del 50-55% in circa un giorno. L'eliminazione dei liquidi è essenziale, poiché le larve non riescono a effettuare la bioconversione in loro presenza. L'acqua drenata, definita come "slurry" (liquame) poiché derivante esclusivamente da rifiuti organici macinati, può essere riutilizzata per il condizionamento del compost o per mantenere l'umidità ottimale del processo di bioconversione.

In sintesi, l'impiego di rifiuti organici come substrati per l'allevamento di insetti offre una soluzione innovativa per la gestione dei rifiuti e per soddisfare la crescente domanda globale di mangimi. Questi materiali, se adeguatamente trattati, possono essere riciclati in modo sostenibile per produrre mangimi animali ad alto valore nutrizionale (simili alla farina di pesce), contribuendo a ridurre l'impatto ambientale e a fornire una fonte proteica alternativa che non compete con il consumo umano. (Salomone et al., 2017).

4.2 Minacce fitosanitarie

Uno dei rischi che presentano gli allevamenti di insetti, è quello delle minacce fitosanitarie, ossia il rischio rappresentato da parassiti e malattie delle piante che colpiscono le colture, le foreste, ma anche l'ambiente naturale. Queste minacce possono essere nuove per un'area specifica in cui possono influenzare e comprendere un'ampia gamma di sfide che pongono rischi significativi per il benessere umano influenzando l'agricoltura, la stabilità dell'ecosistema e persino la sicurezza alimentare globale (Kulesa 2025). Questa minaccia si verifica quando una specie "non autoctona" viene introdotta in nuove aree, intenzionalmente o accidentalmente, e crea qui un insediamento di successo, crescendo e diffondendosi, e conseguentemente diventando "invasiva". In aggiunta a questo rischio, il cambiamento climatico potrebbe esacerbare il problema delle specie invasive e l'innalzamento delle temperature potrebbe causare un'accelerazione del metabolismo, dello sviluppo e della riproduzione, aumentandone di conseguenza l'impatto.

4.2.1 Il caso *Acheta domesticus*

Il grillo domestico (*Acheta domesticus*), originario dell'Asia Sudoccidentale e dell'Africa Settentrionale, è una delle specie di insetti più allevate a livello industriale. Tuttavia, la sua produzione di massa in Europa solleva preoccupazioni per possibili fughe accidentali e la sua conseguente diffusione, con potenziali danni fitosanitari agli ecosistemi autoctoni.

La combinazione di rapida proliferazione, adattabilità e dieta opportunistica rende questa specie una minaccia per i raccolti e i prodotti agricoli immagazzinati. Il cambiamento climatico potrebbe inoltre favorire la sua espansione, creando condizioni ambientali più adatte alla sua diffusione. Nonostante ciò, il rischio di invasività e impatto fitosanitario di *A. domesticus* è stato finora poco considerato.

Uno studio di Kulesa et al. (2024) ha esaminato questa minaccia attraverso esperimenti di risposta funzionale, analizzando il consumo di semi di miglio e grano da parte di *A. domesticus* e l'effetto del riscaldamento globale su tale processo. I risultati ipotizzano che:

- a. le femmine consumano più cibo rispetto ai maschi per sostenere la riproduzione
- b. lo stato di danneggiato (semi completamente/ semi parzialmente consumati) dipende dal tipo di seme
- c. l'aumento della temperatura accelera il metabolismo dell'insetto, aumentando il consumo di risorse.

Questi risultati evidenziano il potenziale rischio fitosanitario del grillo domestico, soprattutto in un contesto di riscaldamento globale.

4.3 Benessere animale

Nel trattare il tema degli allevamenti di insetti entra a pieno titolo anche la problematica della tutela del benessere animale. Infatti, gli animali domestici, compresi gli insetti allevati, hanno esigenze fondamentali simili a quelle dei loro antenati selvatici, come il bisogno di cibo, acqua e rifugio. Tuttavia, la domesticazione ha modificato alcune di queste necessità. Il benessere animale è diventato un tema importante dopo la pubblicazione del libro "Animali macchine" di Ruth Harrison nel 1964, che ha sollevato la questione del trattamento degli animali allevati intensivamente.

Nel 1965, con il Rapporto Brambell, nasceva il concetto di “benessere animale”, inteso come assenza di privazioni rispetto alle libertà fondamentali.

Nel rapporto venne enunciato il principio delle cinque libertà per la tutela del benessere animale:

- 1) Libertà dalla fame, dalla sete e dalla malnutrizione
- 2) Libertà da dolore, lesioni e malattie
- 3) Libertà dalla paura e la sofferenza mentale
- 4) Libertà di fruire di ambienti fisici adeguati
- 5) Libertà di manifestare il proprio repertorio comportamentale specie-specifico

(Istituto Zooprofilattico Sperimentale delle Venezie. 2023)

Gli insetti allevati in cattività possono avere esigenze specifiche in termini di spazio e interazione sociale. Alcune specie, come le locuste e il *Tenebrio molitor*, vivono in gruppi e possono richiedere spazi adeguati a garantire il loro benessere. Tuttavia, poco si conosce riguardo alle sensazioni di dolore e di benessere che gli insetti provano (Erens et al., 2012). Studi recenti hanno suggerito che gli insetti possono avere una forma di nocicezione simile a quella dei mammiferi (Neely et al., 2011), ma non ci sono ancora prove sufficienti per confermare la presenza di abilità cognitive tali da poter sviluppare l'esperienza del dolore, come sembra invece essere il caso di alcuni molluschi come i cefalopodi (Crook e Walters, 2011).

Conclusioni

Con l'introduzione degli insetti edibili nelle filiere agroalimentari si è dovuto far fronte a molte sfide legislative e legate alla sicurezza alimentare, nonostante ciò, gli insetti possono provvedere alla crescente domanda di proteine senza ricorrere agli allevamenti intensivi tradizionali.

In un contesto in cui la popolazione mondiale è destinata a superare i 9 miliardi entro il 2050, e in cui centinaia di milioni di persone soffrono la fame, è necessario rivedere le abitudini alimentari e modificare gli attuali modelli produttivi. Per questo gli insetti si prestano come potenziale parte della soluzione, per l'elevato valore nutrizionale, l'alto tasso di conversione e il ridotto impatto ambientale.

Entrando a far parte dei Novel food, gli insetti sono stati analizzati da ogni punto di vista mettendo in luce sia il loro potenziale nelle diete e negli allevamenti, sia le criticità culturali e normative a loro connesse, ostacolandone la piena affermazione nel mercato europeo ma soprattutto italiano.

Uno dei principali problemi deriva dalla procedura di notifica del Regolamento CE 2283/2015, una procedura nata per semplificare l'autorizzazione degli alimenti, ma che non prevede la protezione dei dati sensibili, cosa che avviene nella procedura ordinaria ma con un iter molto più lungo. Questa complicità non agevola le aziende nell'immettersi in questo nuovo mercato.

Oltre alle problematiche normative, un altro grande ostacolo è la forte repulsione che molte persone provano a considerare gli insetti come fonte di alimenti. Questa avversione è radicata da due fattori psicologici principali: la "food neo-phobia" e il disgusto.

La food neo-phobia è la tendenza psicologica ad evitare alimenti nuovi o non familiari, è un costrutto universale, ma che può variare notevolmente a seconda della cultura o dell'ambiente di riferimento: è spesso associata al disgusto, una delle emozioni primarie che protegge l'individuo da potenziali pericoli. I fattori che lo scatenano variano fra contesti culturali e fra singoli individui. Per questo motivo, la graduale introduzione degli insetti nel mercato, una maggiore visibilità in contesti pubblici e privati e l'introduzione di insetti nella dieta dei consumatori meno neofobici, aiuterebbero notevolmente a ridurre la neofobia alimentare legata a questi alimenti nei contesti sociali dove ancora il consumo di insetti è una pratica non consolidata.

Questo inquadramento generale giustifica in parte i costi elevati di produzione e distribuzione degli alimenti a base di insetti. È prevedibile, nel prossimo futuro, una riduzione dei costi con l'aumento della domanda e una maggiore consapevolezza del mercato.

In Italia, sono presenti alcune aziende che stanno iniziando a diffondere prodotti ottenuti da farine di insetti, tra le quali possiamo trovare ALIA Insect Farm che ha sviluppato una filiera 100% made in Italy, per la produzione di alimenti a base di *Acheta domesticus*. Attualmente i prodotti sono destinati

solo a paesi extra EU, in attesa dell'autorizzazione alla commercializzazione in territorio comunitario. (<https://www.europeanconsumers>)

Il marketing, in questo contesto, gioca un ruolo cruciale nel superare la naturale ritrosia dei consumatori occidentali, insistendo sulla sicurezza, sulla qualità e sull'impatto positivo di questi prodotti.

Da un punto di vista economico, l'allevamento necessita di spazi ridotti, investimenti contenuti e conoscenze tecniche minime e, per questo, offre numerose opportunità di reddito anche per fasce sociali svantaggiate. (Van Huis, 2013). Nonostante ciò, la scarsa domanda da parte dei consumatori rende difficile per queste aziende una stabilità all'interno del mercato.

In conclusione, nonostante tutte le criticità e le incertezze legate alla produzione di insetti edibili, ci sono due elementi che non vanno sottovalutati: il fattore economico ed il fattore ambientale.

In futuro, con il progressivo aumento dei prezzi delle proteine tradizionali, gli insetti potrebbero diventare un'alternativa economica alla carne e al pesce. Nella prospettiva di promuovere stili di vita maggiormente ecosostenibili, è fondamentale considerare l'allevamento e il consumo di insetti come una delle pratiche alimentari più rispettose del nostro pianeta.

Concludendo, nonostante l'allevamento di insetti sia una pratica ecosostenibile e vantaggiosa a livello nutrizionale, ci sono ancora molti aspetti da affrontare ed approfondire, sia dal punto di vista legislativo che da quello culturale e sociale.

Bibliografia

- Behmer, S., Schmidt-Crawford, D., & Schmidt, J. (2006). *Everyone Has a Story to Tell: Examining Digital Storytelling in the Classroom*. Society for Information Technology & Teacher Education International Conference. Association for the Advancement of Computing in Education (AACE), 2006.
- Belluco, S., Losasso, C., Maggioletti, M., Alonzi, C. C., Paoletti, M. G., & Ricci, A. (2013a). *Edible Insects in a Food Safety and Nutritional Perspective: A Critical Review*. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 12(3), 296–313. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12014>
- Brescia, G. I. (2016). *Casu Marzu, un formaggio pericoloso... in attesa del marchio Dop*. *Igiene Alimenti*, March, 36-42.
- Bonora, G. (2016). *I Novel Foods nel Reg. (UE) n. 2015/2283 e gli insetti: una possibile evoluzione dei costumi alimentari?* *Rivista di Diritto Alimentare*, 1(10), 42-54.
- Bukkens, S. (2005). *Insects in the human diet: Nutritional aspects. Ecological Implications of Minilivestock*, 545-577.
- Comitato scientifico dell'EFSA. (2015). *Parere scientifico su un profilo di rischio correlato alla produzione e al consumo di insetti come alimenti e mangimi*. *EFSA Journal*, 13(10), 4257.
- Crook, R. J., & Walters, E. T. (2011). *Nociceptive behavior and physiology in mollusks: Implications for animal welfare*. *ILAR Journal*, 52(2), 185-195.
- Costa, S., Pedro, S., Lourenço, H., Batista, I., Teixeira, B., Bandarra, N. M., ... & Pires, C. (2020). *Evaluation of Tenebrio molitor larvae as an alternative food source*. *NFS journal*, 21, 57-64.
- Douan, B. G., Doumbia, M., Kwadjo, K. E., & Kra, K. D. (2021). *Morphological description of the house cricket (Acheta domesticus Linnaeus, 1758; Orthoptera: Gryllidae) egg in captivity*. *International Journal of Tropical Insect Science*, 41(3), 1961-1967.
- Dunford, J., & Kaufman, P. (2006). *Lesser Mealworm, Litter Beetle, Alphitobius diaperinus (Panzer) (Insecta: Coleoptera: Tenebrionidae)*. *EDIS*, 2006(10), 1-4.
- Erens, J., Esvan, S., Haverkort, F., Kapsomenou, E., Luijben, A., 2012. *A bug's life largescale insect rearing in relation to animal welfare*. Wageningen, UR, 57p
- Fausto, A. M., Fochetti, R., Zapparoli, M., & Danieli, P. P. (2015) *Costi e benefici dell'entomofagia: sostenibilità ambientale dell'allevamento di insetti su larga scala*. *Accademia Nazionale Italiana di Entomologia*.

- Finke MD. *Estimate of chitin in raw whole insects*. Zoo Biol. 2007 Mar;26(2):105-15. doi: 10.1002/zoo.20123. PMID: 19360565.
- Ganseman, E., et al. (2023). *Frequent allergic sensitization to edible insects in exposed workers*. The Journal of Allergy and Clinical Immunology: In Practice, 11(12), 3732-3741.e10.
- Ganseman, Y., et al. (2023). *Inhalation-induced allergic sensitization to insect particles: A review*. Journal of Allergy and Clinical Immunology, 151(4), 1234-1245.
- Glenna W. Dean, *The science of coprolite analysis: The view from Hinds cave*, Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, Volume 237, Issue 1, 2006, Pages 67-79,
- Istituto Zooprofilattico Sperimentale delle Venezie. (2023). *Il benessere animale: Dalla riflessione etico-filosofica all'applicazione in zootecnia (Appunti di scienza 24)*. A cura di Barberio, A., Di Martino, G., Manfrin, A., Menini, A., & Mutinelli, F.
- Ites s., et al. (2020). *Modularity of insect production and processing as a path to efficient and sustainable food waste treatment*. Journal of Cleaner Production, 248.
- Kolobe, S. D., Manyelo, T. G., Malematja, E., Sebola, N. A., & Mabelebele, M. (2023). *Fats and major fatty acids present in edible insects utilised as food and livestock feed*. Veterinary and Animal Science, 22, 100312. <https://doi.org/10.1016/j.vas.2023.100312>
- Kooh, P., Jury, V., Laurent, S., Audiat-Perrin, F., Sanaa, M., Tesson, V., Federighi, M., & Boué, G. (2020). *Control of Biological Hazards in Insect Processing: Application of HACCP Method for Yellow Mealworm (Tenebrio molitor) Powders*. Foods, 9(11), Articolo 11. <https://doi.org/10.3390/foods9111528>
- Kulesa, A., et al. (2024). *Assessing the potential phytosanitary threat of the house cricket Acheta domesticus*. Science of The Total Environment, 170376.
- Kulesa, A.K., Cuthbert, R.N., Soto, I. et al. *Assessing the phytosanitary threats of two non-native crickets under temperature change*. J Pest Sci 98, 1629–1643 (2025). [https://doi.org/10.1007/s10340-](https://doi.org/10.1007/s10340-024-01853-)024-01853-
- La Porta, B. (2021). *Gli insetti edibili alla prova del mercato. Il regolamento di esecuzione (UE) 2021/882 relativo all'immissione in commercio della larva di Tenebrio molitor essiccata: criticità*. Rivista di Diritto Alimentare, 2(15), 35.
- Lecoq, M., & Long, Z. (2019). *Migratory Locust Locusta migratoria (Linnaeus, 1758) (Acrididae)*.

- Liao, G. Y., Dai, S., Bae, E., Singh, S., Klug, J., Pettan-Brewer, C., & Ladiges, W. (2025). *Morphological features of the domestic house cricket (Acheta domesticus) for translational aging studies*. GeroScience, 1-25.
- Lombardo, A. (2022). *Novel food: profili giuridici Analisi sugli insetti edibili nella legislazione Europea*.
- Meijer N, Safitri RA, Tao W, Hoek-Van den Hil EF. *Review: European Union legislation and regulatory framework for edible insect production - Safety issues*. Animal. 2025 Feb 25:101468. doi: 10.1016/j.animal.2025.101468. Epub ahead of print. PMID: 40133170.
- Nakagaki, B. J. ; DeFoliart, G. R., 1991. *Comparison of diets for mass-rearing Acheta domesticus (Orthoptera: Gryllidae) as a novelty food, and the comparison of food conversion efficiency with values reported for livestock*. J. Econom. Entom., 84 (3): 891-896
- Neely, Andy, Ornella Benedettini, and Ivanka Visnjic. *"The servitization of manufacturing: Further evidence."* 18th European operations management association conference. Vol. 1. 2011.
- Oonincx, D.G.A.B., van Itterbeeck, J., Heetkamp, M. J. W., van den Brand, H., van Loon, J., van Huis, A., 2010. - *An exploration on greenhouse gas and ammonia production by insect species suitable for animal or human consumption*. - Plos ONE, 5(12): e14445.
- Oonincx, D. G., & van der Poel, A. F. (2011). *Effects of diet on the chemical composition of migratory locusts (Locusta migratoria)*. Zoo Biology, 30(1), 9-16.
- Paoletti, M. G. (2005). *Ecological implications of minilivestock: potential of insects, rodents, frogs and sals*. CRC Press.
- Regolamento di esecuzione (UE) 2023/5 della Commissione. (2023). Gazzetta ufficiale dell'Unione europea, L 2, 4 gennaio 2023.*
- Regolamento di esecuzione (UE) 2023/58 della Commissione. (2023). Gazzetta ufficiale dell'Unione europea, L 5, 6 gennaio 2023.*
- Rivas-Navia, Denisse María, et al. *"Bioactive compounds of insects for food use: Potentialities and risks."* Journal of Agriculture and Food Research 14 (2023): 100807. Rivas-Navia, D. M., et al. (2023). *Bioactive compounds from insects for food use: potential and risks*.
- Ralph W. Howard, David W. Stanley-Samuelson, *Phospholipid Fatty Acid Composition and Arachidonic Acid Metabolism in Selected Tissues of Adult Tenebrio molitor (Coleoptera: Tenebrionidae)*, Annals of the Entomological Society of America, Volume 83, Issue 5, 1 September 1990, Pages 975–981, Journal of Agricultural and Food Research.

Roffeis M., Wakefield M. E, Almeida J., Alves Valada T. R., Devic E., é Koné N’Golopè, Kenis M., Nacambo S., Fitches E. C., Koko G.K.D, Mathijs E., Achten W.M.J., Muys B., *Life cycle cost assessment of insect based feed production in West Africa*, Journal of Cleaner Production, Volume 199, 2018, Pages 792-806

Salomone R., Saija G., Mondello G., Giannetto A., Fasulo S., Savastano D., *Environmental impact of food waste bioconversion by insects: Application of Life Cycle Assessment to process using Hermetia illucens*, Journal of Cleaner Production, Volume 140, Part 2, 2017, Pages 890-905,

Stanley-Samuelson, D. W., et al. (1990). *Phospholipid fatty acid composition and arachidonic acid uptake and metabolism by the cicada Tibicen dealbatus (Homoptera: Cicadidae)*. Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Comparative Biochemistry, 97(2), 285-289.

Steinfeld, H., et al. (2006). *Livestock's Long Shadow: Environmental Issues and Options*. Food & Agriculture Org., 2006.

Sturm, R. (2012). *Morphology and ultrastructure of the accessory glands in the female genital tract of the house cricket, Acheta domesticus*. Journal of insect science, 12(1), 99.

Tilman D, Cassman KG, Matson PA, Naylor R, Polasky S. *Agricultural sustainability and intensive production practices*. Nature. 2002 Aug 8;418(6898):671-7. doi: 10.1038/nature01014. PMID: 12167873.

Turini Federico *Insetti edibili, sostenibilità e sicurezza alimentare*. Università degli Studi di Firenze 2023

Unione Europea. (1997). *Regolamento (CE) n. 258/97 del Parlamento europeo e del Consiglio*. Gazzetta ufficiale dell'Unione europea, L 43, 1-6.

Unione Europea. (2015). *Regolamento (UE) 2015/2283 del Parlamento europeo e del Consiglio*. Gazzetta ufficiale dell'Unione europea, L 327, 1-22.

Unione Europea. (2017). *Regolazione di esecuzione (UE) 2017/2470 della Commissione*. Gazzetta ufficiale dell'Unione europea, L 351, 72-201.

Unione Europea. (2022). *Regolamento (UE) 2022/188 della Commissione del 14 febbraio 2022 che modifica gli allegati II e III del regolamento (CE) n. 396/2005 del Parlamento europeo e del Consiglio per quanto riguarda i livelli massimi di residui di flonicamid in o su determinati prodotti*. Gazzetta ufficiale dell'Unione europea, L 31, 1–8.

Unione Europea. (2023). *Regolamento di esecuzione (UE) 2023/5 della Commissione*. Gazzetta ufficiale dell'Unione europea, L 2, 4 gennaio 2023.

Unione Europea. (2023). *Regolamento di esecuzione (UE) 2023/58 della Commissione*. Gazzetta ufficiale dell'Unione europea, L 5, 6 gennaio 2023.

Unione Europea. (2025). *Regolamento di esecuzione (UE) 2025/89 della Commissione*. Gazzetta ufficiale dell'Unione europea, L 21, 7-14.

Van Huis, A. (2013). *Potential of insects as food and feed in assuring food security*. Annual Review of Entomology, 58, 563-583.

Van Huis, A., et al. (2013). *Edible insects: Future prospects for food and feed security*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Veldkamp, T., G. van Duinkerken, Van Huis, C.M.M. Lakemond, E. and Ottevanger, E., and M.A.J.S van Boekel, 2012. - *Insects as a sustainable feed ingredient in pig and poultry diets. A feasibility study*. - Wageningen UR Livestock Research, Report 638.

Volpato, A. (2015). *La riforma del regolamento sui Novel Food: alla ricerca di un impossibile equilibrio?* Rivista di Diritto Alimentare, 4(9), 26-43.

Vommaro, M. L., Kurtz, J., & Giglio, A. (2021). *Morphological characterisation of haemocytes in the mealworm beetle Tenebrio molitor (Coleoptera, Tenebrionidae)*. Insects, 12(5), 423.

Williams, A. R. (2013). *Citizen scientists*. National Geographic, 223(3), 118-119.

Żuk-Golaszewska K, Gałęcki R, Obremski K, Smetana S, Figiel S, Golaszewski J. *Edible Insect Farming in the Context of the EU Regulations and Marketing-An Overview*. Insects. 2022 May 7;13(5):446. doi: 10.3390/insects13050446. PMID: 35621781; PMCID: PMC9147295.

Sitografia

<https://www.efsa.europa.eu/it>

<https://www.europeanconsumers.it/2023/02/06/ditte-e-prodotti-a-base-di-insetti-autorizzati-in-italia-le-farine-marcie-ora-sono-un-business/>

<https://www.fao.org/fsnforum/es/resources/la-contribucion-de-los-insectos-la-seguridad-alimentaria-los-medios-de-vida-y-el-medio>

.

Appendice

Dichiarazione dettagliata sull'uso della GenAI

Strumenti e versioni: *ChatGPT-4.*

Periodo di utilizzo: *luglio ed agosto 2025*

Modalità di utilizzo: *redazione e riformulazione linguistica non sostanziale*

Sezioni interessate: *Cap. 2 § 2.1-2.2 -2.4 -2.5; Cap. 3; Cap. 4*

Strumenti e versioni: NotebookLM

Periodo di utilizzo: da aprile a luglio 2025

Modalità di utilizzo: supporto allo studio del materiale

Sezioni interessate: Cap. 2 § 2.1-2.2 -2.4 -2.5; Cap. 3; Cap. 4 Cap. 2

Verifiche e responsabilizzazione: tutte le informazioni fattuali sono state controllate e citate; dove l'IA ha proposto testo, questo è stato riscritto e validato

