



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA
DIPARTIMENTO DI AGRONOMIA ANIMALI
ALIMENTI RISORSE NATURALI E AMBIENTE

Corso di laurea
Scienze e Tecnologie Alimentari

PRODUZIONE DI INSETTI EDIBILI:
APPROFONDIMENTI SULLE TECNOLOGIE,
SICUREZZA ALIMENTARE E ASPETTI NORMATIVI

Relatore
Prof. Isabel Martinez Sañudo

Laureanda
Sara Valle
Matricola n. 2006976

ANNO ACCADEMICO 2023/2024

INDICE

RIASSUNTO	1
ABSTRACT	3
1. INTRODUZIONE	5
1.1 INSETTI	5
1.2 ENTOMOFAGIA	7
1.3 CENNI STORICI DELL'USO DI INSETTI NELL'ALIMENTAZIONE UMANA.....	8
1.4 EVOLUZIONE DELL'USO DI INSETTI COME FONTE DI CIBO NEI PAESI OCCIDENTALI	9
1.5 OBIETTIVI.....	9
2. TECNOLOGIE DI PRODUZIONE	11
2.1 PRODUZIONE DI INSETTI EDIBILI	11
2.1.1 ALLEVAMENTO.....	11
2.1.2 PRE-TRATTAMENTO E FASE DI SGRASSATURA	12
2.1.3 BLANCHING.....	12
2.1.4 ESSICAZIONE E LIOFILIZZAZIONE.....	14
2.1.5 AFFUMICATURA	16
2.1.6 ESTRAZIONE DELLE PROTEINE, LIPIDI E CHITINA	16
2.1.7 PROTEINE DI INSETTI COLTIVATE.....	17
2.1.8 ESTRUSIONE E FERMENTAZIONE	17
2.1.9 CONSERVAZIONE.....	18
2.2 ACHETA DOMESTICUS	19
2.3 TENEBRIO MOLITOR.....	23
3. VALORI NUTRIZIONALI	29
3.1 PROTEINE E AMMINOACIDI ESSENZIALI	29
3.2 LIPIDI E ACIDI GRASSI.....	30
3.3 MINERALI e VITAMINE.....	35
3.4 COMPOSTI BIOATTIVI.....	36
3.5 PROFILO NUTRIZIONALE DI ACHETA DOMESTICUS.....	36
3.6 PROFILO NUTRIZIONALE DI TENEBRIO MOLITOR	37

4. RISCHI PER LA SALUTE DEL CONSUMATORE.....	39
4.1 RISCHI MICROBIOLOGICI.....	39
4.1.1 CARICA MICROBICA TOTALE ED ENTEROBATTERIACEE	39
4.1.2 STAFILOCCOCCHI COAGULASI POSITIVI	40
4.1.3 LISTERIA MONOCYTOGENES.....	41
4.1.4 BATTERI SPORIGENI.....	41
4.1.5 MICOTOSSINE.....	42
4.2 RISCHI PARASSITARI.....	43
4.2.1 PARASSITI.....	43
4.3 RISCHI CHIMICI.....	44
4.3.1 PESTICIDI	44
4.3.2 STEROIDI METABOLICI.....	44
4.3.3 METALLI PESANTI.....	45
4.4 PERICOLI: RISCHI DI ALLERGIA	45
5. NORME SUL CONSUMO DI INSETTI	49
CONCLUSIONI	53
BIBLIOGRAFIA	55

RIASSUNTO

L'introduzione degli insetti nelle diete occidentali sta guadagnando popolarità come risposta alla crescente popolazione mondiale, che comporta una domanda alimentare in continua crescita. Questa tesi mira a mettere in luce i processi tecnologici applicabili per la produzione, trasformazione e conservazione degli insetti commestibili. Gli insetti rappresentano una fonte eccellente di proteine e grassi, offrendo anche un'opzione sostenibile grazie alle significative riduzioni delle emissioni di CO₂ e ammoniaca rispetto ad altre fonti proteiche di origine animale. Tuttavia, è essenziale valutare i rischi associati, che possono includere aspetti microbiologici, parassitari e chimici. Inoltre, si enfatizza l'importanza della allergenicità alle proteine degli insetti., il quale potrebbe costituire un potenziale rischio per il consumatore. Infine, la tesi esamina il quadro normativo relativo ai "Novel Foods" al fine di identificarne le lacune e di esplorare le possibilità future per questo settore nel nostro Paese.

ABSTRACT

The introduction of insects into Western diets is gaining popularity as a response to the growing global population, which leads to a continuously increasing demand for food. This thesis aims to point out the technological processes for the production, processing, and preservation of edible insects. Insects represent an excellent source of protein and fats, and they offer a sustainable option due to the significant reductions in CO₂ and ammonia emissions compared to other animal protein sources. However, it is essential to evaluate potential risks, which may include microbiological, parasitic, and chemical aspects. Emphasis is placed on the importance of allergy to insect proteins, which could pose a potential risk to consumers. Finally, the thesis examines the regulatory framework related to "Novel Foods" to identify gaps and explore future possibilities for this sector in our country in Italy.

1. INTRODUZIONE

1.1 INSETTI

La parola insetto deriva dal termine latino *insectum*, che significa “con corpo segmentato o diviso”, per il fatto che il corpo di questi animali è costituito di tre parti.

Gli insetti costituiscono una classe di animali all'interno del phylum degli artropodi. Caratterizzati da un esoscheletro chitinoso, il loro corpo è suddiviso in tre segmenti distinti (capo, torace e addome), presentano tre paia di zampe articolate, occhi composti e un paio di antenne. Rappresentano uno dei gruppi con il più elevato grado di diversità sul pianeta: sono state infatti descritte più di un milione di specie di insetti, pari alla metà di tutti gli organismi viventi conosciuti. Si stima che il numero totale di specie viventi sia di circa 6-10 milioni, e la classe degli insetti rappresenta potenzialmente oltre il 90% delle diverse forme di vita animale sulla Terra.

Si trovano insetti in quasi tutti gli ecosistemi e zone climatiche, anche se solo un piccolo numero di specie occupa gli oceani, un habitat prevalentemente occupato da un altro gruppo di artropodi, i crostacei (Van Huis et al., 2017).

Attualmente sono riconosciuti circa 25 diversi ordini di insetti e la maggior parte degli insetti commestibili appartiene agli ordini dei coleotteri, lepidotteri, ditteri, ortotteri e imenotteri.

All'interno del gruppo degli insetti emimetaboli, che si sviluppano gradualmente dagli stadi ninfali allo stadio adulto senza una fase pupale, si trova l'ordine degli ortotteri. Sono tra le specie di insetti più grandi con una lunghezza compresa tra i 2-7 cm e una massa corporea tra i 100 e 2.500 mg. Sia le ninfe che gli stadi adulti si nutrono principalmente di vegetali.

La famiglia dei grillidi comprende ca. 2.400 specie e su scala di dimensione medio-piccola una delle specie più comuni è *Acheta domesticus* L. (Orthoptera: Gryllidae), chiamato grillo domestico (Veldkamp et al., 2021) (Figura 1).



Figura 1: *Acheta domesticus* (grillo domestico) (Kemsawasd et al., 2022, p. 4)

Il grillo domestico è presumibilmente originario dell'Asia sud-occidentale, ma attualmente è diffuso in tutto il mondo. Il suo ciclo di sviluppo comprende 8-9 stadi ninfali, con una durata di circa 45 giorni a una temperatura di 30°C e un'umidità relativa del 60%. Questo insetto in allevamenti artificiali accetta diversi tipi di alimenti, tra cui piante vive (come foglie di erba o cavolo, melone, zucca e manioca), residui della produzione di birra (come cereali esausti) e scarti di frutta. Durante i primi stadi ninfali, che coprono le prime tre settimane di vita, spesso vengono nutriti con diete a base

di cereali ricchi di proteine, amido, minerali e vitamine. Nei successivi quattro stadi di sviluppo ninfale, possono essere alimentati con materiali organici residui, come scarti alimentari e sottoprodotti agricoli. Le femmine arrivano a produrre dalle 1.200 alle 2.800 uova nelle prime quattro settimane in base alla temperatura che può variare dai 34°C ai 28°C. Le uova vengono depositate a pochi cm in profondità nel terreno o altro materiale di composizione granulometrica e contenuto di umidità adeguato. Nelle sue condizioni ottimali l'uovo si sviluppa in circa tredici giorni.

L'83% di tutte le specie di insetti è costituito dal gruppo degli olometaboli. Questi insetti, a differenza degli emimetaboli, sono caratterizzati da una metamorfosi completa con una netta separazione tra le tre diverse forme di vita successive allo stadio di uovo: larva, pupa e adulto.

Il ciclo di vita può essere diviso in tre fasi distinte, ciascuna con specifici compiti: durante lo stadio larvale, si verifica un efficiente accumulo di nutrienti e riserve energetiche; nello stadio di pupa, si verifica la metamorfosi della biomassa larvale nella forma di vita adulta; infine, nello stadio adulto, avviene il processo di riproduzione. Gli stadi larvali sono un'importante fonte di nutrienti perché sono molto ricchi di proteine e lipidi con livelli inferiori di chitina rispetto agli stadi adulti.

All'interno del gruppo degli insetti olometaboli si trova l'ordine dei coleotteri, l'ordine di insetti più diversificato in quanto conta circa 400.000 specie. I coleotteri abitano una vasta gamma di habitat, che si riflette nella sorprendente diversità di dimensioni, forme e strutture del corpo. Nella famiglia dei coleotteri si trova il *Tenebrio molitor* L. (Tenebrionidae, Coleoptera) chiamato anche verme giallo della farina (Figura 2), una specie facile da allevare e un buon candidato per l'allevamento commerciale su larga scala per mangimi e alimenti.



Figura 2: *Tenebrio molitor* (larva gialla della farina) (De Loof & Schoofs, 2019, p. 3)

In origine l'habitat del verme giallo della farina era limitato all'Europa meridionale ma il commercio globale ha consentito alla specie di diffondersi in tutto il mondo. Questo insetto si nutre di vegetali, frutta o cereali (e i prodotti derivati) nei quali è considerato una specie infestante. Le uova deposte dello scarabeo sono lunghe 1 mm con un diametro di 0,5 mm, sono di colore bianco latte e ovali. Le larve, chiamate vermi della farina, dopo un primo stadio in cui appaiono bianche diventano giallastre con una striscia marrone all'estremità di ogni segmento. L'intero ciclo di vita da uovo a uovo dura dai tre ai quattro mesi, ma dipende fortemente anche dall'ambiente, il quale presenta una temperatura ottimale di 25-30°C e un'umidità del 60-70%, e dalla qualità del mangime (Veldkamp et al., 2021).

1.2 ENTOMOFAGIA

La popolazione globale cresce costantemente, generando una crescente richiesta di cibo. Le migliorie nei metodi di produzione alimentare sono state ottenute tramite politiche agricole intensive, la selezione genetica e, più recentemente, l'adozione di organismi geneticamente modificati (OGM). Tuttavia, spesso l'aumento della resa grazie all'agricoltura intensiva comporta una diminuzione della sostenibilità ambientale e del benessere degli animali (Belluco et al., 2013a).

Eventi naturali come il cambiamento climatico, la crisi energetica, la riduzione della fertilità del suolo, la presenza di parassiti e malattie delle piante, insieme a fattori causati dall'azione umana, come l'aumento dei prezzi alimentari, la scarsità di disponibilità di cibo, la limitata capacità di acquisto dei consumatori e disuguaglianze nella distribuzione alimentare, sembrano essere le cause dell'insicurezza alimentare, mentre la domanda globale di cibo aumenterà per almeno altri 40 anni. La ricerca di alternative alimentari rappresenta un passo pratico e indispensabile. Allo stesso tempo, migliorare l'approvvigionamento alimentare tramite nuove tecnologie richiede un periodo di adattamento prima che diventino soluzioni praticabili, efficienti dal punto di vista economico e rispettose dell'ambiente quando adottate su vasta scala.

Come responsabilità globale, specialmente da parte dei paesi membri, l'Organizzazione delle Nazioni Unite per l'Alimentazione e l'Agricoltura (FAO) ha assunto l'iniziativa di sviluppare delle linee guida per incoraggiare l'entomofagia in molte parti del mondo e ha proposto il programma di diversificare le fonti alimentari, incluso l'impiego di insetti per la nutrizione umana. Entomofagia è il termine usato per descrivere il processo di mangiare insetti. Nelle attuali circostanze, gli insetti commestibili costituiscono una fonte alimentare naturale per diverse comunità etniche in Asia, Africa, Messico e Sud America. In queste regioni, l'entomofagia può offrire una soluzione sostenibile con vantaggi economici, nutrizionali ed ecologici per le comunità rurali. Tuttavia, in alcune aree, l'entomofagia sta diventando sempre più rara a causa della crescente adozione di cibi moderni, dei cambiamenti nelle strutture sociali e delle variazioni demografiche (Gahukar, 2011).

Al giorno d'oggi l'entomofagia viene praticata per tre buoni motivi: salute, ambiente e fattori economici e sociali. Gli insetti rappresentano una nutriente e salutare alternativa ai tradizionali alimenti di origine animale quali il pollo, il maiale, il bovino e anche il pesce. Gli insetti sono ricchi in proteine, grassi insaturi, calcio, ferro e zinco. Gli insetti allevati a scopo alimentare emettono molti meno gas serra rispetto alla maggior parte degli allevamenti tradizionali. Inoltre, il loro allevamento non richiede attività di disboscamento o lo sfruttamento di terreni potenzialmente coltivabili. Dato che gli insetti sono animali a sangue freddo, mostrano un'elevata efficienza nella trasformazione del cibo in proteine, ad esempio i grilli rispetto ai bovini necessitano di un quantitativo dodici volte inferiore per produrre lo stesso quantitativo di proteine. L'allevamento e la coltivazione di insetti costituiscono attività di investimento a bassa complessità tecnologica, richiedendo un modesto capitale iniziale e offrendo opportunità di lavoro anche per le fasce più svantaggiate della società, come i senza lavoro e i meno abbienti. Gli allevamenti di piccoli insetti rappresentano un mezzo di sussistenza sia per le popolazioni urbane che per quelle rurali. La pratica dell'allevamento degli insetti può variare da un'attività a bassa complessità tecnologica a un livello più sofisticato, a seconda del livello di investimento previsto (Van Huis et al., 2017).

1.3 CENNI STORICI DELL'USO DI INSETTI NELL'ALIMENTAZIONE UMANA

L'entomofagia vanta una lunga e ricca storia radicata nella cultura umana. Da millenni, gli insetti sono parte integrante della dieta umana, come attestato da reperti rinvenuti in siti archeologici preistorici. Nel corso dei secoli, l'entomofagia è divenuta pratica diffusa in molte culture, specialmente in alcune regioni dell'Africa, dell'Asia, dell'America Latina e dell'Oceania (Olivadese & Dindo, 2023). In alcune società, gli insetti erano considerati una delizia riservata a occasioni speciali, mentre in altre rappresentavano una fonte alimentare di base. Le origini dell'entomofagia variano a seconda della cultura e della regione, ma tra le motivazioni comuni figurano i benefici nutrizionali offerti dagli insetti, la loro abbondanza e accessibilità, nonché il significato culturale e religioso associato a determinate specie. Gli insetti, con ogni probabilità, rappresentarono una fonte alimentare essenziale per le prime popolazioni umane. Le prove indicano che il consumo di insetti faceva parte integrante della dieta umana già in epoche preistoriche, sebbene sia difficile dimostrarlo a causa della limitata conservazione di tali testimonianze. Resti di tegumenti, ali e altre parti anatomiche di insetti sono stati rinvenuti nelle feci fossilizzate (coproliti) di antichi esseri umani, principalmente nelle grotte degli Stati Uniti e del Messico. Il consumo di insetti ha presumibilmente svolto un ruolo cruciale nella dieta dei primi esseri umani grazie alla loro abbondanza e al valore nutrizionale che offrivano, infatti nelle pitture rupestri troviamo anche rappresentazioni di insetti, oltre ai grandi animali cacciati come bisonti, mammut e cervi (Olivadese & Dindo, 2023).

Nell'antica società romana gli insetti erano comunemente consumati e godevano di una doppia valenza: da un lato, erano considerati una prelibatezza, mentre dall'altro rappresentavano un alimento accessibile per i meno abbienti. Nel I secolo d.C., Plinio il Vecchio, celebre scrittore e naturalista romano, approfondì ampiamente il tema del mondo naturale e dell'utilizzo di piante e animali in ambito alimentare e medicinale. Nei suoi scritti, si soffermò sul consumo di insetti tra gli antichi romani, soprattutto durante periodi di carestia. Nel suo trattato "Naturalis Historia", Plinio annotò che le locuste e le cavallette erano considerate una prelibatezza e venivano spesso preparate tramite cottura al forno o friggitura. Anche il consumo di coleotteri, formiche e larve era frequente, e descrisse l'uso delle formiche in medicina per le loro presunte proprietà curative. Sebbene Plinio riconoscesse il valore nutrizionale degli insetti e il loro potenziale come fonte di cibo, osservò anche che alcuni insetti (non specificati) potevano essere dannosi se consumati e mise in guardia contro l'assunzione di particolari specie. Nonostante ciò, dai suoi scritti emerge che il consumo di insetti non era insolito nella società dell'antica Roma.

Per quanto riguarda i periodi storici successivi, è rilevante notare che il consumo di insetti durante il Medioevo non è ampiamente documentato e le testimonianze storiche disponibili sono limitate. In breve, sebbene ci siano prove che suggeriscano il consumo occasionale di insetti in specifici contesti durante il Medioevo, l'entomofagia non costituiva una pratica comune o diffusa in tutta Europa.

Studiosi europei appartenenti a varie epoche, dal Rinascimento al secolo scorso, hanno esaminato il consumo di insetti, offrendo un quadro storico, presentando una prospettiva interculturale e comunicando il significato culturale di questa pratica (Olivadese & Dindo, 2023).

1.4 EVOLUZIONE DELL'USO DI INSETTI COME FONTE DI CIBO NEI PAESI OCCIDENTALI

Oggi, mentre il consumo di insetti sta crescendo in tutto il mondo, gli atteggiamenti culturali nei confronti di questa pratica variano notevolmente. Alcune culture la abbracciano come una pratica tradizionale, mentre altre possono mostrare riserve considerandola non convenzionale. A causa della crescente consapevolezza dell'impatto ambientale dell'allevamento animale, si sta sviluppando un interesse crescente verso gli insetti come fonte proteica più sostenibile. Infatti, in termini nutrizionali, gli insetti rappresentano una ricca fonte di proteine, vitamine e minerali. Grazie a una migliore comprensione della nutrizione e ai progressi nella scienza alimentare, sempre più persone riconoscono il valore nutrizionale degli insetti e i potenziali benefici per la salute associati al loro consumo.

L'integrazione degli insetti nei sistemi alimentari globali, inclusi quelli delle società occidentali, può contribuire a preservare le tradizioni culinarie e a promuovere la diversità culturale. Recentemente, si è riscontrato un rinnovato interesse per il consumo di insetti e per i nuovi prodotti alimentari, caratterizzati da un approccio sostenibile che utilizza ingredienti locali, biologici e/o prodotti in modo rigenerativo. Tali pratiche di produzione mirano a minimizzare gli impatti ambientali e a sostenere un'agricoltura sostenibile nel contesto di un'economia circolare. La produzione di insetti, tuttavia, richiede competenza, considerando fattori quali la qualità della dieta fornita e la valutazione microbiologica.

In Europa, l'uso di insetti come fonte alimentare ha progressivamente declinato con la diffusione del tabù culturale associato al consumo di "striscianti raccapriccianti". Attualmente, l'Unione Europea non ha ancora completamente approvato l'entomofagia per un consumo più diffuso, ma si è manifestato un crescente interesse e impegno di ricerca in questo settore negli ultimi anni. Alcuni Stati membri dell'UE, tra cui Belgio e Paesi Bassi, hanno autorizzato la vendita di specifici prodotti a base di insetti, tuttavia, manca ancora un quadro armonizzato per la regolamentazione degli alimenti a base di insetti in tutta l'Unione Europea.

Il consumo di insetti potrebbe apportare diversi vantaggi per il futuro, tra cui miglioramenti nella nutrizione, sostenibilità ambientale, sicurezza alimentare, promozione della diversità culturale e stimoli innovativi per l'industria alimentare (Olivadese & Dindo, 2023).

1.5 OBIETTIVI

Il consumo di insetti rimane un argomento controverso nel mondo occidentale; tuttavia, le preferenze culturali e i gusti possono evolversi nel tempo. La presente tesi ha come obiettivo studiare la possibilità del consumo di insetti, sottolineando la loro elevata qualità nutrizionale, per andare a ridurre il consumo di prodotti di origine animale come carne e pesce. Grazie alla diversificata gamma di tecnologie disponibili, è possibile ottenere prodotti molto vari che possono essere integrati nella dieta occidentale. Tuttavia, un aspetto cruciale è la sicurezza alimentare, poiché è fondamentale un controllo adeguato dei patogeni che potrebbero avere impatti negativi sui consumatori. Inoltre, la ricerca si concentra su due specie di insetti ampiamente utilizzati nella produzione di prodotti a base di insetti edibili: *Acheta domesticus* e *Tenebrio molitor*.

2. TECNOLOGIE DI PRODUZIONE

2.1 PRODUZIONE DI INSETTI EDIBILI

Le conoscenze tramandate dalle popolazioni indigene riguardo alla raccolta selvatica e al consumo locale di insetti possono confluire in modo complementare con le conoscenze scientifiche essenziali, contribuendo così a potenziare la produzione su vasta scala di insetti (Melgar-Lalanne et al., 2019).

2.1.1 ALLEVAMENTO

Il termine "minibestiami" si riferisce a insetti e altri organismi di dimensioni ridotte, in grado di essere allevati e consumati con beneficio per gli esseri umani. Il mini-bestiami può essere allevato sia nei grattacieli delle città che nelle aree rurali, in quanto richiede una modesta quantità di input per unità di output. L'allevamento degli insetti presenta il potenziale per costituire una fonte proteica alternativa, economica, sostenibile e rispettosa dell'ambiente, idonea a integrare le pratiche di allevamento convenzionali (Bessa et al., 2020).

A livello globale, circa il 92% degli insetti commestibili viene raccolto in natura, con solo quantità limitate di insetti appositamente allevati. Questa pratica solleva serie preoccupazioni. In primo luogo, la qualità e la sicurezza degli insetti raccolti in natura non possono essere garantite. Inoltre, la raccolta di insetti selvatici può contribuire all'estinzione di alcune specie. In contrasto, non è sempre possibile allevare completamente tutti i tipi di insetti in condizioni artificiali. Inoltre, la diffusione di patogeni all'interno di una popolazione tenuta in cattività costituisce ancora un problema significativo. Un esempio tangibile è dato dall'*Acheta domesticus* densovirus (AdDNV), il quale ha causato gravi danni all'allevamento commerciale di grilli domestici in Europa e in alcune regioni del Nord America.

Gli insetti possono essere coltivati per l'alimentazione umana e animale attraverso due approcci distinti: possono essere completamente addomesticati e allevati in cattività, oppure possono essere parzialmente allevati in cattività, con modifiche all'habitat degli insetti per aumentarne la produzione, ma senza separarli in modo definitivo dalle loro popolazioni selvatiche (Baiano, 2020).

Gli insetti completamente addomesticati comprendono vermi della farina, scarafaggi, ortotteri e alcuni coleotteri, mentre locuste, vespe, bruchi di bambù, larve di punteruolo delle palme e libellule rientrano nella seconda categoria. Le pratiche associate alla semi-coltivazione contribuiscono sia alla preservazione dell'habitat degli insetti commestibili che alla sicurezza alimentare. Vermo della farina, grilli e scarafaggi sono particolarmente adatti per l'allevamento, sia a livello domestico che industriale, grazie alle ampie ricerche sulle loro condizioni di coltivazione. La sostenibilità dell'allevamento degli insetti può essere realizzata utilizzando flussi secondari organici, come letame, liquame suino e compost (Veldkamp et al., 2012). La maggior parte degli insetti d'allevamento può essere coltivata in contenitori di plastica ventilati, con temperature ambientali elevate fino a 30 °C e umidità relativa fino al 70%. Presentano bassi requisiti tecnici, densità di produzione elevate e non necessitano di esposizione diretta alla luce solare in alcune fasi della loro vita. Tra gli insetti più comunemente allevati è presente il *T. molitor*, il quale è coltivato ottimamente a temperature comprese tra 25 e 28 °C, con un'umidità relativa del 70%. La dieta ideale deve contenere dal 5% al 10% di lievito, dall'80% all'85% di carboidrati e complessi B. Diverse strategie di nutrimento possono essere impiegate, compreso l'uso di sottoprodotti alimentari e rifiuti organici, però una dieta con elevato contenuto proteico (circa il 20%) e lipidico (circa il 9%) produce risultati ottimali in termini

di efficienza di conversione alimentare, sopravvivenza, tempo di sviluppo e composizione nutrizionale (Melgar-Lalanne et al., 2019b).

2.1.2 PRE-TRATTAMENTO E FASE DI SGRASSATURA

I legumi come piselli, soia e lenticchie vengono comunemente sottoposti a essiccazione, se necessario, e decorticati per agevolare il successivo processo di macinatura o triturazione. Questo procedimento aumenta anche il contenuto proteico eliminando i gusci ricchi di fibre dai cotiledoni. Le matrici degli insetti possono essere paragonate alle leguminose, poiché entrambe presentano un guscio ricco di fibre. Di conseguenza, gli insetti interi vengono sottoposti a una fase iniziale analoga, solitamente attraverso liofilizzazione o cottura al forno, seguita dalla macinatura e setacciatura per produrre una polvere fine che favorisce il contatto proteina-solvente nelle fasi successive (Gravel & Doyen, 2020).

La fase di sgrassatura, ovvero la rimozione del grasso dal campione, ha un impatto diretto sul recupero e sulla purezza delle proteine nel prodotto finale. A causa della natura idrofobica dei lipidi, le interazioni proteina-lipide limitano la solubilità delle proteine. Questo fenomeno è ampiamente documentato per legumi e semi, ma è meno studiato per gli insetti, sebbene la fase di sgrassatura abbia dimostrato di migliorare la resa proteica degli insetti su scala di laboratorio. Ad esempio, l'uso della fase di sgrassatura con esano ha incrementato il contenuto proteico di *T. molitor* da $57,8 \pm 1,2\%$ a $64,6 \pm 0,3\%$ e quello di *Hermetia illucens* L. da $34,7 \pm 0,2\%$ a $44,9 \pm 1,4\%$ (Bußler et al., 2016).

L'estrazione dei lipidi con esano è ampiamente utilizzata per il suo elevato recupero di olio, superiore al 96%. Tuttavia, sono stati esaminati solventi organici più sostenibili come possibili alternative all'esano, considerato svantaggioso per la salute, la sicurezza, l'ambiente e l'economia. Alcuni studi hanno dimostrato che l'etanolo, ad esempio, è un'alternativa interessante all'esano come solvente per l'estrazione dell'olio dalle larve di *T. molitor*. Altri metodi di sgrassatura, che richiedono poco o alcun solvente, come l'estrazione acquosa, il ripartizionamento trifase, la pressatura meccanica e l'uso di CO₂ supercritico, sono stati esplorati. Mentre l'estrazione acquosa e il ripartizionamento trifase hanno prodotto meno grasso rispetto all'estrazione con l'esano, il CO₂ supercritico ha mostrato risultati promettenti, con un recupero dell'95% dell'olio da *T. molitor*, rendendolo un'alternativa interessante, soprattutto se resa più economica su scala industriale (Gravel & Doyen, 2020).

2.1.3 BLANCHING

Il *blanching* è un procedimento in cui un alimento viene immerso in acqua bollente per un breve periodo, successivamente estratto e poi raffreddato rapidamente in acqua ghiacciata o sotto corrente d'acqua fredda per interrompere il processo termico. Questa tecnica è ampiamente impiegata come pretrattamento per la maggior parte degli insetti commestibili disponibili sul mercato, sia su scala industriale che artigianale. Lo scopo principale è ridurre la carica microbica e disattivare gli enzimi degradativi responsabili del deterioramento e della potenziale contaminazione alimentare.

Insect species	Blanching treatment	Main findings	Reference
<i>Alphitobius diaperinus</i> (beetle)	Submerged in bath with water at 90 °C until water temperature reaches 88 °C (5 min).	Reduction in total microbial count of 4.0 log cfu/g but aerobic endospores persisted. No typical pathogens were identified. Some mold producers of mycotoxins found.	Wynants et al., 2018
<i>Ruspolia differens</i> (grasshopper)	Submerged in boiling water for 5 min, drained, and allowed to cool.	Not indicated.	Fombong et al., 2017
<i>Tenebrio molitor</i> L. (mealworm larvae)	Submerged for 10 min in boiling water in a 1/12 (w/w) larvae-water ratio.	Slight increase in water content but no significant changes in composition of macronutrients.	Purchke et al., 2017
<i>Tenebrio molitor</i> L. (live larvae)	Submerged for 1 min in boiling water or sterilized in cans with brine solution (5% NaCl) for 16 min at 120 °C.	Reduction in TVC (with boiling 4 log cfu/g) and sterilization (5 log cfu/g); No yeast or mold observed with either treatment.	Caparros Megido et al., 2017
<i>Archea domesticus</i> (house cricket)	Submerged in boiling water for 4 min or sterilized in cans with brine solution (NaCl 5%) for 16 min at 120 °C.	Reduction in TVC with boiling (4 log cfu/g) and sterilization (5 log cfu/g); No yeast or mold observed with either treatment.	Caparros Megido et al., 2017
<i>Macrotermes</i> spp. (smoked termites)	Submerged in boiling water for 1 min.	Reduction in TVC (3 log cfu/g) with boiling. No yeast or mold observed with either treatment.	Caparros Megido et al., 2017
<i>Cirina gorda</i> (mickwater caterpillar)	Submerged in boiling water for 5 min.	Reduction in TVC (3 log cfu/g). No yeast or mold observed with either treatment.	Caparros Megido et al., 2017
<i>Tenebrio molitor</i> L. (mealworm)	Submerged in boiling water for 3 min in a 1/10 (w/w) larvae-water ratio. Drained for 2 min, and excess water removed with absorbent paper.	Increase in water content. No significant changes in composition of macronutrients. Decrease in luminosity color factor.	Azzolini et al., 2016
<i>Tenebrio molitor</i> (mealworm larvae)	a) Submerged in boiled water: - 1 min - 10 min - 5 min followed by oven-drying at 55 °C, 24 hr - 1 min in acid water (pH 4,0) b) Roasting for 10 min whole and crushed.	No microbiological data. No significant differences in TVC, Ent, or BS were found with different boiling treatments. With roasting, more Ent were detected both in whole and crushed forms.	Klunder et al., 2012
<i>Archeta domesticus</i> (cricket)	a) Submerged in boiling water for 5 min. b) Stir-frying for 5 min.	Better TVC results were found by submerging in boiling water; No differences in Ent and BS.	Klunder et al., 2012
<i>Brachytrupus</i> sp. (large cricket)	Submerged in boiling water for 5 or 10 min.	No differences were found in TVC, Ent, or BS.	Klunder et al., 2012
<i>Tenebrio molitor</i> L. (mealworm larvae)	Submerged in boiling water in a 1/10 larvae/water ratio (w/v) for 10, 20, or 40 s, followed by chilling in an ice bath for 30 s.	TVC was reduced by between 5 to 6 log cfu/g. Enterobacteriaceae, BAL, and yeasts and molds almost disappeared. BS were maintained. Longer treatments were more effective.	Vandeweyer et al., 2017
<i>Archeta domesticus</i> L. (house crickets)	Submerged in boiling water (98 °C) for 5 min.	Not determined.	Kamau et al., 2018
<i>Hermetica ilucens</i> L. (Black soldier fly)	Submerged in boiling water (98 °C) for 5 min.	Not determined.	Kamau et al., 2018

Where TVC, total viable count; Ent, Enterobacteriaceae; BS, bacterial spores; and LAB, Lactic acid bacteria.

Tabella 1: Trattamenti di *blanching* solitamente applicati agli insetti commestibili (Melgar-Lalanne et al., 2019, p. 1172)

Come evidenziato nella Tabella 1, lo sbollentamento produce una significativa riduzione nella conta totale di batteri mesofili, lieviti e muffe. Tuttavia, non è efficace nell'eliminare, e talvolta ridurre, le spore batteriche mesofile. Inoltre, si è osservato che il *blanching* può determinare una diminuzione nella conta di batteri lattici e batteri psicrotrofi totali (Melgar-Lalanne et al., 2019).

Dopo il trattamento di *blanching* in *T. molitor*, si è osservato un leggero incremento dell'umidità, passando dal 62,81% al 70,44% dopo 40 secondi. Tuttavia, l'attività dell'acqua ($A_w=0,96$), ovvero la disponibilità di acqua, è rimasta costante. Tale effetto potrebbe derivare dall'assorbimento e trattenimento dell'acqua all'interno della larva di *T. molitor*, particolarmente sotto l'esoscheletro chitinoso. Nonostante ciò, non sono emerse differenze significative nella composizione chimica, considerando la massa secca, tra le larve fresche e quelle sottoposte a *blanching*. Cambiamenti più significativi nella composizione chimica sono osservabili in periodi più prolungati, principalmente a causa della lisciviazione di nutrienti solubili che può influenzare il contenuto proteico. Durante il processo di ebollizione, alcune proteine possono subire modifiche strutturali, come denaturazione, reticolazione e interazione con lipidi e carboidrati. Di conseguenza, il numero di siti idrofili coinvolti

nei legami con l'acqua potrebbe diminuire, alterando le proprietà di assorbimento e richiedendo un'analisi proteica più specifica.

La valutazione del colore riveste un'importanza significativa nell'accettazione da parte dei consumatori, tuttavia, è stata oggetto di limitate analisi negli insetti commestibili. In uno studio sulla farina di *T. molitor*, si è osservato che la luminosità diminuiva con il trattamento di scottatura, possibilmente a causa di un fenomeno fisico in cui l'acqua presente nei tessuti freschi modificava l'indice di rifrazione rispetto ai campioni secchi. Di conseguenza, un maggiore contenuto di umidità nei campioni sottoposti a *blanching* potrebbe aver influenzato la luminosità, conferendo un aspetto più scuro ai campioni (Melgar-Lalanne et al., 2019).

I processi di *blanching* dovrebbero essere personalizzati per ciascuna specie di insetto, mirando a ottimizzare gli effetti antimicrobici con una minima perdita di qualità. Lo sbollentamento può essere progettato per minimizzare i rischi microbiologici associati al consumo di insetti commestibili e potrebbe essere combinato con tecniche atte a ridurre la presenza di spore batteriche (Caparros Megido et al., 2018).

2.1.4 ESSICCAZIONE E LIOFILIZZAZIONE

L'essiccazione rappresenta la metodologia maggiormente utilizzata per prolungare la conservazione degli alimenti, spaziando dalle tecniche tradizionali come tostatura, frittura ed essiccazione all'aria aperta, alle metodologie moderne quali la liofilizzazione e l'essiccazione a microonde. Questo processo mira a ridurre il contenuto di acqua complessivo e, conseguentemente, la sua disponibilità per reazioni degradative, comprese quelle catalizzate da enzimi e microrganismi responsabili del deterioramento. La crescita microbica è direttamente influenzata dall'attività dell'acqua (A_w) e la maggior parte dei microrganismi smette di proliferare a valori inferiori a circa 0,65. In condizioni di A_w ridotta, la crescita microbica rallenta, mentre in presenza di adeguate condizioni idriche, può riprendere. Per l'essiccazione di insetti commestibili interi, le tecniche preferite sono essiccazione all'aria aperta, liofilizzazione e essiccazione in forno, mentre per farine e polveri di insetti vengono impiegate prevalentemente liofilizzazione, essiccazione in forno e altre tecniche non convenzionali. L'essiccazione non solo prolunga la durata di conservazione dei prodotti durante la distribuzione e lo stoccaggio, ma anche indipendentemente dai trattamenti di scottatura ed essiccazione applicati agli insetti, è essenziale riscaldarli prima del consumo per eliminare eventuali microrganismi residui. Diversi studi hanno dimostrato che far bollire insetti essiccati per 30 minuti è un approccio efficace per eliminare batteri totali, *Enterobacteriaceae*, *Staphylococcus*, *Bacillus*, lieviti e muffe (Melgar-Lalanne et al., 2019).

La tecnologia di essiccazione più tradizionale è l'essiccazione al sole, comunemente utilizzata a livello domestico per il suo basso consumo energetico, rendendo i prodotti più leggeri per il trasporto. Tuttavia, il principale limite di questo metodo è la scarsa qualità igienico-sanitaria sia del processo che del prodotto finale. Nell'essiccazione al sole, l'insetto è considerato disidratato solo in base all'aspetto esterno, poiché il contenuto di umidità e/o l'attività dell'acqua non vengono determinati, essendo questo un processo prevalentemente domestico (Melgar-Lalanne et al., 2019).

Sebbene meno comunemente usata, l'essiccazione a letto fluido è stata documentata anche come metodo di essiccazione alternativo per la produzione di farina di insetti. Un altro metodo di

essiccazione, il metodo di essiccazione a spruzzo (spray driers), è stato utilizzato per le soluzioni proteiche o sospensioni, poiché questa tecnica richiede che il campione proteico venga atomizzato in piccole goccioline lambite da aria calda secca privando dell'umidità il prodotto, tuttavia l'uso per le proteine degli insetti deve ancora essere documentato (Gravel & Doyen, 2020).

La liofilizzazione è la tecnica più utilizzata per l'analisi di laboratorio delle caratteristiche nutrizionali degli insetti, in quanto grazie al suo funzionamento si ottiene un prodotto finale di alta qualità con un eccellente valore nutrizionale e una lunga durata di conservazione (Melgar-Lalanne et al., 2019)

Il processo di liofilizzazione si divide in due fasi, il campione viene prima congelato e poi essiccato per sublimazione dell'acqua cristallizzata, favorita dalla diminuzione della pressione a basse temperature al di sotto del punto triplo. Questa è la tecnica più comunemente utilizzata nella lavorazione delle proteine degli insetti, ma i parametri utilizzati non sono sempre ben documentati (Gravel & Doyen, 2020).

La liofilizzazione presenta svantaggi, tra cui i costi elevati associati al processo. Inoltre, nei prodotti ad alto contenuto di grassi, potrebbe verificarsi l'ossidazione dei lipidi, con conseguente diminuzione della solubilità proteica (Melgar-Lalanne et al., 2019).

Edible insect	Common name	Drying method	Conditions used	Reference
<i>Ruspolia nitidula</i>	Grasshopper	Air convection dryer.	80 °C/10 hr until moisture of 5% is reached.	Ssepuuya et al., 2017
<i>Rhynchophorus phoenicis</i>	Palm weevil	Solar drying Oven-drying Smoke-drying	5 days 50 °C/48 hr Exposure to smoke heat for 6 hr.	Tiencheu et al., 2013
<i>Sternocera orissa</i>	Giant jewel beetle	Oven-drying Freeze-drying Frying pan	66 °C/24 hr -55 °C/24 hr/085 mtorr 130-cm diameter, 50-mL tap water Fried without cooking oil	Shadung, Mphosi, & Mashela, 2012
<i>Imbrasia epimethea</i>	African moth	Oven-drying Solar drying	8 hr/80 °C 3 days	Lautenschläger et al., 2017
<i>Macrotermes subhyllanus</i>	Winged termite	Solar drying	Approximately 30 °C RH 40% Time not indicated	Kinyuru et al., 2015
<i>Polyrhachis vicina</i> Roger	Black ant	Solar drying	(20-35 °C until dried, between 2 and 5 days)	Li et al., 2009
<i>Ruspolia differens</i>	Longhorn grasshopper	Freeze-drying	Phase (1) -50 °C/0.40 bars /48 hr Phase (2) -55 °C/0.021 bars /48 hr	Fombong et al., 2017
<i>T. molitor</i>		Oven-drying Microwave-assisted drying	60 °C/24 hr 8, 10, 13, 16, 20 min 2 kw	Vandeweyer et al., 2017
<i>T. molitor</i>	Yellow mealworm	Oven-drying Freeze-drying Fluidized bed drying	Conventional hot air drying 60 °C/24 hr 80 °C/7 hr 0.2 mbars/48 hr Bed temperature: 60 °C Air outlet temperature: 55 °C Differential pressure bed: 15 bar Differential pressure filter: -1.3 bar Air flow: 500 m ³ /hr	Purschke et al., 2018a
		Oven-drying with air circulation	45 °C/48 hr	Viera-Alves, Sanjinez-Argandoña, Linzmeier, Cardoso, & Macedo, 2016
		Freeze-drying	Not indicated	Bußer et al., 2016
<i>Cirina forda</i> Westwood	Moth	Freeze-drying Oven-drying	Not indicated 40 °C / 24 hr after boiling 2 hr	Wynants et al., 2018 Omotoso, 2006
<i>Rhynchophorus phoenicis</i> F.	Palm weevil	Oven-drying	60 °C to constant weight	Idolo, 2010
<i>Clanis bilineata</i>	Dou-Dan	Ultrasound-assisted aqueous extraction (UAAE)	BILON-650CT multi-purpose constant-temperature ultrasonic extraction system equipped with one powerful ultrasonic transducer (20 kHz, 650 W)	Sun et al., 2018

Tabella 2: Trattamenti di essiccazione utilizzati per insetti commestibili (Melgar-Lalanne et al., 2019, p. 1175)

I prodotti essiccati in forno sono simili a quelli liofilizzati ma richiedono minori costi energetici, mostrano una minore ossidazione dei lipidi e una solubilità proteica elevata.

L'essiccazione assistita da microonde (Tabella 2) ha dimostrato di ridurre l'attività dell'acqua in soli 16 minuti ($A_w < 0,30$), portando a una significativa riduzione della conta microbiologica. La validità dell'essiccazione a microonde è stata testata su *T. molitor*, risultando in prodotti finali con un A_w inferiore a 0,6. Larve fresche e sbollentate sono state essiccate con lievi variazioni nei contenuti di proteine, grassi e ceneri, e l'indice di imbrunimento è rimasto costante durante i 4 mesi di conservazione (Melgar-Lalanne et al., 2019).

L'applicazione di diverse tecnologie di essiccazione può influenzare diversi parametri qualitativi oltre alla semplice riduzione del contenuto di acqua. Le proprietà funzionali delle proteine, l'ossidazione dei lipidi e il colore possono essere modificate dalla tecnologia di essiccazione scelta e dalle condizioni applicate. Pertanto, la scelta della tecnologia di essiccazione dovrebbe considerare l'uso previsto dell'insetto e la forma in cui verrà consumato (intero, in polvere o come ingrediente). L'essiccazione al sole non dovrebbe essere considerata come tecnologia primaria, dato l'alto rischio di ossidazione lipidica e le scarse condizioni igieniche associate. Il metodo di essiccazione industriale preferito è l'essiccazione in forno, poiché produce una qualità finale simile alla liofilizzazione in termini di estrazione di proteine, grassi e chitina (Melgar-Lalanne et al., 2019).

2.1.5 AFFUMICATURA

L'affumicatura è un metodo di conservazione che combina stagionatura e trattamento termico ed è considerata una delle tecniche più tradizionali per preservare varie carni. In questo processo, il prodotto grezzo viene esposto al fumo generato dalla pirolisi del legno. Nel caso degli insetti, l'affumicatura avviene in un ambiente asciutto, e simultaneamente all'essiccazione, si verifica un processo di stagionatura. Durante questa procedura, l'azione combinata degli enzimi e del calore favorisce modifiche nelle proteine e nei lipidi del prodotto (Melgar-Lalanne et al., 2019).

2.1.6 ESTRAZIONE DELLE PROTEINE, LIPIDI E CHITINA

Le moderne tecnologie di lavorazione per gli insetti commestibili sono state principalmente impiegate nell'estrazione di proteine, grassi e chitina. L'estrazione proteica può essere condotta utilizzando acqua, solventi organici ed enzimi per agevolare i processi industriali. Il tasso di estrazione e le caratteristiche risultanti dipendono dalla specie e possono influenzare la resa di estrazione, oltre alle proprietà fisico-chimiche, funzionali e bioattive, in relazione al tipo di solvente impiegato. In *T. molitor* e *H. illucens*, un metodo di estrazione acquosa è stato adottato per preparare intermedi ricchi di proteine destinati alla produzione di ingredienti per mangimi. Per isolare le proteine dalle farine di insetti, la solubilità delle proteine è stata ottimizzata attraverso la modulazione del pH, della forza ionica e della temperatura di estrazione del solvente, seguita dall'estrazione con acqua (Bußler et al., 2016).

La resa dell'estrazione proteica è stata valutata in *A. domesticus* utilizzando esano e acqua in differenti proporzioni. I risultati hanno evidenziato che l'estrazione con esano è risultata più efficace per la resa, il colore, le proteine grezze, le ceneri grezze e i carboidrati disponibili. D'altra parte, l'estrazione con

acqua ha dimostrato una maggiore capacità di emulsione e schiuma, oltre a una stabilità superiore di entrambe. Nel caso di *T. molitor*, il frazionamento a secco è stato implementato con successo per aumentare la resa di frazioni arricchite di proteine, con risultati dipendenti dai pretrattamenti e dal trattamento di essiccazione precedente al frazionamento. Le caratteristiche fisico-chimiche delle diverse frazioni delle larve di *T. molitor* sono influenzate significativamente dal pretrattamento di essiccazione e dalla frazione di setacciatura analizzata. Le frazioni di setacciatura mostravano diverse composizioni di macronutrienti, con il recupero proteico più elevato ottenuto nella frazione granulometrica da 500 a 1000 μm . Il frazionamento si configura come una strategia promettente per la produzione di intermedi standardizzati a base di insetti, con applicazioni industriali e accettazione da parte dei consumatori in prospettiva. L'estrazione acquosa assistita da ultrasuoni è stata applicata con successo per estrarre l'olio da *Clanis bilineata*, un lepidottero commestibile consumato in Cina, e i risultati sono stati confrontati con quelli ottenuti tramite l'estrazione Soxhlet. La più elevata resa in olio (19,47%) è stata ottenuta utilizzando la tecnica ad ultrasuoni con una potenza ultrasonica di 400 W, temperatura di estrazione di 40 °C e intervalli di 2 s per 50 min di estrazione. Inoltre, l'estrazione ad ultrasuoni ha leggermente migliorato la quantità di acidi grassi polinsaturi estratti (56,89 g/100 g di olio) e il rapporto ω -3/ ω -6 (4,58). L'attività antiossidante è stata anch'essa potenziata. L'estrazione ad ultrasuoni è considerata una tecnologia green che offre elevati rendimenti sull'investimento di capitale grazie alla riduzione dei tempi di lavorazione e della quantità di solventi utilizzati (Melgar-Lalanne et al., 2019).

2.1.7 PROTEINE DI INSETTI COLTIVATE

La produzione di proteine degli insetti non è limitata alle metodologie di coltivazione tradizionali. Negli ultimi anni, si sono condotte indagini sulla coltura di cellule di insetti in sospensione in bioreattori. Questi sistemi chiusi operano in condizioni controllate, offrendo il vantaggio di generare proteine di insetti di qualità riproducibile, con un potenziale per la produzione su larga scala. Tale approccio riduce il rischio di contaminazione, consentendo la modifica e il controllo della composizione e della biomassa delle cellule attraverso specifici tipi di tessuto. Questo consente la coltivazione ottimale delle cellule e la potenziale riduzione di componenti indesiderati, come la chitina. A differenza delle cellule animali, le cellule di insetto non richiedono apparecchiature per il controllo di anidride carbonica o temperatura, semplificando e rendendo più efficiente il processo. Queste caratteristiche aprono la possibilità di coltivare insetti in ambienti insoliti, incluso lo spazio (Bessa et al., 2020).

2.1.8 ESTRUSIONE E FERMENTAZIONE

Le tecnologie tridimensionali di stampa alimentare rappresentano un approccio innovativo alla produzione di alimenti, permettendo la creazione di oggetti tridimensionali attraverso un processo di costruzione robotica controllato digitalmente, che opera mediante la deposizione strato per strato. Recentemente, questo metodo è stato impiegato per estrarre filamenti di pasta di insetti. Ad esempio, larve di *T. molitor*, precedentemente macinate ed essiccate al microonde, sono state utilizzate per arricchire un impasto di grano. Il processo di stampa tridimensionale è stato eseguito

con un modello di stampante tridimensionale dotato di un estrusore di argilla. L'impasto, spinto da un pistone a una pressione di 4 bar attraverso un tubo di plastica posto sulla testa dell'estrusore, è stato stampato con condizioni specifiche, quali una velocità di stampa di 30 mm/s, velocità di traslazione di 50 mm/s, altezza dello strato di 0,5 mm e dimensione dell'ugello di 0,84 mm. Gli snack stampati riproducevano la struttura complessiva dell'oggetto disegnato, ma l'aggiunta di diverse concentrazioni di polvere di insetto influiva sulla stampabilità dell'impasto e sulle proprietà morfologiche e microstrutturali del prodotto finale. Tuttavia, la qualità nutrizionale risultava superiore rispetto all'impasto di frumento non supplementato di estratti di insetti (Melgar-Lalanne et al., 2019).

Grazie alle nuove pratiche culinarie della marinatura e della fermentazione delle larve di *T. molitor*, è stato scoperto che questi processi conferivano ai prodotti finali una lunga durata di conservazione. Nello studio, le larve sbollentate sono state marinate per 6 giorni nel vino rosso o nella salsa di soia. Entrambi i trattamenti si sono dimostrati efficaci nel prevenire la proliferazione di microrganismi di deterioramento (microrganismi aerobi vitali totali, *Enterobacteriaceae* ed endospore batteriche), e la durata di conservazione dei vermi della farina è stata estesa di 7 giorni rispetto alle larve semplicemente sbollentate. Nel trattamento di fermentazione, le larve sono state frantumate prima della fermentazione per ottenere una pasta e sono state inoculate con una miscela di *Pediococcus acidilactici*, *Lactobacillus curvatus* e *Staphylococcus xilosus* starter di carne, integrate con il 2,8% di NaCl (p/p), lo 0,75% di d-(+)-glucosio (p/p) e lo 0,051% di NaNO₂ (p/p) e poi incubate a 35 °C per 2 settimane fino al completamento della fermentazione (pH < 5,0). La shelf-life dei due prodotti, tuttavia, non è stata determinata (Borremans et al., 2018).

2.1.9 CONSERVAZIONE

In generale, le condizioni di conservazione dipendono dalla specie di insetto e dal fatto che il prodotto venga venduto come insetto intero e pronto al consumo o in polvere, dopo un processo di essiccazione. Ogni tipo di prodotto mostra un modello specifico di shelf-life, costituito dalla somma dei conteggi iniziali del prodotto grezzo, più le modifiche dovute alla lavorazione e alla contaminazione secondaria. Nel caso di *A. domesticus* sbollentata, essiccata e macinata, la farina può essere conservata per 16 giorni in frigorifero (a 5-7 °C), ma solo 4 giorni a temperatura ambiente (a 28-30 °C) (Melgar-Lalanne et al., 2019).

Recentemente è stata analizzata la qualità microbiologica dei seguenti insetti commestibili conservati a lungo termine: verme della farina giallo (*Tenebrio molitor*), verme della farina minore (*Alphitobius diaperinus*), grillo campestre (*Gryllus assimilis*) e locusta migratoria (*Locusta migratoria*). Tutti i campioni sono risultati sicuri per il consumo umano. La lavorazione più adatta per la conservazione a lungo termine era l'uccisione con acqua bollente, l'essiccazione a 103 °C per 12 ore e il successivo confezionamento ermetico (Adamek et al., 2018). Nel caso di insetti freschi, si consiglia il congelamento (-20 °C) come metodo di conservazione per mantenere la loro qualità microbica al posto della refrigerazione (da 5 a 7 °C).

Per gli insetti commestibili essiccati e in polvere, la refrigerazione è il metodo migliore per evitare la degradazione ossidativa e microbiologica. Quando la refrigerazione è combinata con il vuoto o con atmosfere modificate, la shelf-life dei prodotti aumenta notevolmente.

La conservazione sottovuoto e al buio può migliorare la durata di conservazione di insetti commestibili interi anche se conservati a temperatura ambiente. Il confezionamento sottovuoto migliora la qualità microbiologica del prodotto, mentre l'oscurità impedisce l'ossidazione dei lipidi. Un'atmosfera modificata composta per il 60% da CO₂ e 40% N₂ è stata utilizzata per conservare in frigorifero prodotti simili alla carne macinata di larve di *T. molitor* e *Alphitobuouus diaperinus*. È stata osservata una significativa riduzione della crescita microbica rispetto ai campioni conservati in condizioni atmosferiche normali. La conta aerobica di *T. molitor* è rimasta bassa (1,0 log UFC/g) dopo 28 giorni se conservata in atmosfera modificata; tuttavia, il conteggio aerobico totale è stato di 6,9 log UFC/g per i campioni conservati in condizioni ambientali. Al contrario, *A. diaperinus* potrebbe essere conservato per soli 14 giorni in condizioni di atmosfera modificata (1,9 log UFC/g). La composizione della comunità batterica differiva tra i due prodotti immagazzinati, ma era significativamente inferiore a quella riscontrata nella carne macinata cruda proveniente da fonti tradizionali. La durata di conservazione del prodotto dipendeva anche dalle specie macinate originali utilizzate (Melgar-Lalanne et al., 2019).

2.2 ACHETA DOMESTICUS

Tra le varietà di insetti indicate per il consumo umano, l'*Acheta domesticus*, comunemente noto come grillo domestico, emerge come una specie con un notevole potenziale commerciale nel mercato dell'Unione Europea. L'*A. domesticus* viene con successo allevato su larga scala in paesi sia orientali che occidentali, servendo sia scopi di esportazione che di consumo interno.

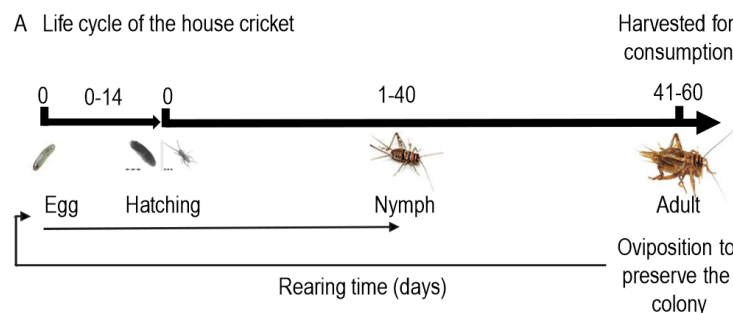


Figura 3: Il ciclo di vita dell'*Acheta domesticus* (Fernandez-Cassi et al., 2019, p. 139).

In sintesi, dopo l'incubazione delle uova, le ninfe vengono coltivate in appositi contenitori sotto condizioni controllate (alimentazione, temperatura, luce, umidità). Quando raggiungono la fase di crescita desiderata, generalmente adulti, circa due mesi dopo la schiusa, i grilli vengono raccolti (Figura 3). Il metodo di abbattimento più comune è il congelamento, seguito spesso da una fase di ebollizione per ridurre i rischi biologici, come batteri, virus e parassiti. Successivamente, i grilli vengono essiccati e possono essere consumati sotto forma di insetti essiccati integrali o ulteriormente elaborati per ottenere polvere di grillo o frazioni come concentrati proteici e grassi.

Al momento, gli stadi di sviluppo più comunemente impiegati nell'industria alimentare sembrano essere gli adulti di *A. domesticus* (Ververis et al., 2022).

Sia nella forma essiccata che non essiccata di *A. domesticus*, sono stati analizzati diversi parametri microbiologici, tra cui la conta aerobica totale, *Salmonella spp.*, *Listeria monocytogenes*, gruppo *Bacillus cereus*, stafilococchi coagulasi-positivi, *Enterobacteriaceae*, batteri lattici, lieviti e muffe (Tabella 3). La conta delle endospore batteriche è stata specificamente studiata solo nei campioni essiccati di *A. domesticus*. Per quanto riguarda le forme non essiccate di *A. domesticus*, la maggior parte degli studi ha focalizzato l'analisi del microbiota degli insetti in forma grezza, non sottoposti a processi di trasformazione.

Summary of microbiological profiles of undried and dried *Acheta domesticus* forms.

Microbiological parameter	Levels reported (log cfu/g)					
	Undried <i>A. domesticus</i> forms				Dried <i>A. domesticus</i> forms ^a	
	Raw/Frozen ^b		Heat-treated, undried ^c			
	min	max	min	max	min	max
Aerobic mesophilic total viable count	7.2	10.2	< 1.0	10.1	0.8	8.8
Aerobic mesophilic spore forming bacteria	2.6	4.3	1.5	7.8	1.6	8.1
Lactic Acid Bacteria	6.1	8.1	< 1.0	< 1.0	n.d.	6.1
Bacilli	3.0	4.0	/	/	0.5	5.9
<i>Bacillus cereus</i> group	3.07	8.7	< 1.0	/	< 1.0	8.4
<i>Campylobacter</i> spp.	/	/	n.d.	/	n.d.	/
<i>Clostridium perfringens</i>	/	8.6	< 1	1.9	< 1.0	1.6
<i>Clostridium perfringens</i> spores	/	/	/	/	< 2.0	< 2.0
<i>Clostridium</i> spp.	/	/	/	/	< 1.0	< 1.0
<i>Enterobacteriaceae</i>	4.2	8.0	< 1	> 9	< 1.0	5.6
<i>Escherichia coli</i>	/	/	n.d.	< 1.0	n.d.	< 1.0
<i>Listeria monocytogenes</i>	n.d.	/	n.d.	/	n.d.	n.d.
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	/	/	< 1.0	/	< 1.0	/
<i>Pseudomonas</i> spp.	/	/	/	/	3.6	3.6
<i>Salmonella</i> spp.	n.d.	+	n.d.	/	n.d.	+
Staphylococci	/	/	/	/	2.7	5.3
<i>Staphylococcus aureus</i> coagulase positive	< 1.0	8.0	< 1.0	2.9	< 1.0	4.0
Sulphite-reducing clostridia	/	/	/	/	< 1	3
Yeasts/moulds	4.44	7.2	< 1.0	< 1.6	< 1	7
Yeasts	n.d.	5.2	/	/	< 1	5.10
Moulds	2.5	4.5	/	/	< 1	3.32

/=no value reported,

n.d.=not detected,

+ = present

^a With or without effect of storage,

^b With or without effect of rinsing and/or storage,

^c Boiled, steamed, heated, or autoclaved,

Tabella 3: Sommario dei profili microbiologici di *Acheta domesticus* non essiccata ed essiccata (Ververis et al., 2022b, p. 8)

Nella Tabella 3, la maggior parte dei dati presentati riguarda le forme essiccate di *A. domesticus*. I livelli di contaminanti segnalati sono generalmente bassi e spesso inferiori al livello di rilevamento. Per quanto riguarda i metalli pesanti e gli oligoelementi nelle forme non essiccate di *A. domesticus* (Tabella 4), i dati sono stati ottenuti utilizzando la spettrometria di emissione atomica al plasma accoppiato induttivamente (ICP-AES) in uno studio (Collavo et al., 2005) che ha esaminato l'impatto di quattro diete sperimentali sulla composizione di *A. domesticus*. Inoltre, i livelli di glicocalcoloidi (α -solanina e α -caconina) sono stati analizzati in uno studio in cui i grilli sono stati parzialmente nutriti con patate (Sorjonen et al., 2019). L'influenza del mangime sulla composizione di *A. domesticus* richiede ulteriori approfondimenti, poiché le attuali evidenze su questo aspetto risultano piuttosto limitate. Complessivamente, diete ad alto e medio contenuto proteico hanno dimostrato di favorire una resa più elevata, una crescita più rapida e uno sviluppo ottimale. I risultati indicano che

i sottoprodotti dell'industria alimentare potrebbero essere integrati con successo nei mangimi destinati ai grilli, contribuendo così agli obiettivi dell'economia circolare.

I livelli di micotossine e i dati quantitativi sui metalli pesanti e altri oligoelementi nelle forme essiccate di *A. domesticus* (Tabella 4) sono stati estratti dai risultati della valutazione della sicurezza condotta dal gruppo di esperti scientifici NDA dell'EFSA nel 2021. I livelli di contaminanti segnalati sono bassi e spesso inferiori al livello di rilevamento (Ververis et al., 2022).

Levels of components of toxicological concern in undried and dried *Acheta domesticus* forms, on a product basis.

Undried <i>A. domesticus</i> forms	Dried <i>A. domesticus</i> forms		
Heavy metals and trace elements (mg/kg)	Heavy metals and trace elements (mg/kg)	Mycotoxins (µg/kg)	Alkaloids (mg/kg)
As: 0.01–0.08	As: < 0.01–0.96	Aflatoxin B1: < 0.1	α-solanine: 3.975–4.255
Ag: n.d.	Al: 34	Aflatoxin B2: < 0.04	α-chaconine: 3.650–4.625
Al: 9.86–12.58	Cd: 0.015–0.026	Aflatoxin G1: < 0.1	
B: 0.27–0.56	Co: < 0.1–0.44	Aflatoxin G2: < 0.06	
Be: 0.01–0.02	Hg: 0.038–0.041	Aflatoxins (Sum of B1, B2, G1, G2): < 0.3	
Cd: 0.01–0.02	Ni: 0.14–0.62	Ochratoxin: < 0.4	
Co: 0.01–0.02	Pb: < 0.02–0.115	Nivalenol: < 20	
La: n.d. - 0.06		Deoxynivalenol: < 20	
Li: 0.01–0.04		Zearalenone: < 10	
Ni: 0.13–0.32		T-2 and HT-2: < 20	
Pb: 0.06–0.2		Fumonisin B1: < 0.012	
Sb: n.d. - 0.83		Fumonisin B2: < 0.0049	
Sr: 0.71–1.25			
Te: n.d. 0.11			
Th: n.d. - 0.21			
Ti: 0.09–0.14			
V: 0.01			
Y: 0.01			
Zr: 0.04–0.06			

Tabella 4: Livelli dei componenti di interesse tossicologico nell'*Acheta domesticus* non essiccata ed essiccata (Ververis et al., 2022, p. 8)

Il numero di studi che forniscono dati analitici sulla presenza di composti endogeni o esogeni di possibile interesse tossicologico in *A. domesticus* è limitato, sia nella sua forma essiccata che non essiccata (Tabella 4). I dati compositivi presentati si riferiscono principalmente a due categorie di prodotti di *A. domesticus*, che rappresentano le principali forme di utilizzo di questa specie di insetto nell'industria alimentare: le forme "non essiccate" e quelle "essiccate".

Dalla Tabella 4 emerge che i livelli di contaminanti riportati sono ridotti e frequentemente al di sotto della soglia di rilevabilità, pertanto è possibile trascurare gli eventuali effetti negativi che potrebbero influire sul consumatore.

L'insieme degli studi attualmente disponibili suggerisce che il mangime fornito ad *A. domesticus* durante l'allevamento ha un impatto sulla composizione dell'insetto. La dieta influisce sullo stato di salute generale della colonia di insetti, nonché sul tasso di crescita e sul sesso dell'insetto, e questi parametri influenzano indirettamente la composizione finale delle forme di *A. domesticus*. Ad esempio, poiché le femmine presentano un profilo lipidico quantitativo e qualitativo diverso rispetto

ai maschi, un cambiamento nel rapporto femmine/maschi potrebbe implicare una variazione nel profilo lipidico della forma finale di *A. domesticus*. Si è osservato che le caratteristiche sensoriali di questa particolare specie di insetto possono subire influenze dal substrato alimentare utilizzato durante l'allevamento, aprendo la possibilità a ulteriori utilizzi e applicazioni tecnologiche nel settore alimentare.

Inoltre, i livelli di contaminanti chimici e biologici presenti nel mangime si riflettono sul profilo composizionale dell'insetto stesso, influenzando così la composizione finale. Tuttavia, il limitato numero di studi che indagano il legame tra alimentazione e composizione di *A. domesticus* fornisce informazioni finora limitate. Ulteriori ricerche sono necessarie per stabilire scientificamente i substrati alimentari adatti a migliorare il profilo nutrizionale di *A. domesticus*, servendo anche da deterrente per l'accumulo di contaminanti nelle forme finali di *A. domesticus* (Ververis et al., 2022). La maggior parte dei dati riguardanti i componenti di possibile preoccupazione tossicologica nelle forme essiccate di *A. domesticus* proviene dal parere dell'EFSA sulla "Sicurezza delle formulazioni congelate ed essiccate da grilli domestici interi (*Acheta domesticus*) come nuovo alimento ai sensi del regolamento (UE) 2015/2283". Il gruppo NDA dell'EFSA ha valutato e presentato dati su metalli pesanti e micotossine negli adulti essiccati di *A. domesticus*, sottolineando che le concentrazioni di contaminanti nelle forme di *A. domesticus* dipendono principalmente dai livelli di tali contaminanti nel mangime fornito agli insetti. In generale, i pochi dati attualmente disponibili indicano bassi livelli di contaminanti, senza sollevare preoccupazioni tossicologiche. Va notato anche che non sono state trovate evidenze sulla presenza in *A. domesticus* di composti prodotti endogenamente di possibile interesse tossicologico, un aspetto rilevante quando si indaga la sicurezza dei prodotti derivati da insetti (Ververis et al., 2022).

Gli insetti possono fungere come serbatoio per vari microrganismi, inclusi batteri patogeni, lieviti, muffe, virus e parassiti. La gestione dei rischi biologici su larga scala nella produzione di prodotti derivati dagli insetti è di massima importanza per preservare la salute del consumatore.

Gli studi condotti da Fernandez-Cassi et al., (2020) suggeriscono che diversi substrati non hanno avuto un impatto significativo sul profilo microbiologico di *A. domesticus*.

Possono essere impiegate diverse fasi di lavorazione per la preparazione di *A. domesticus*, tra cui trattamenti termici come autoclave, cottura a vapore e bollitura, oltre a metodi di essiccazione come essiccazione in forno, liofilizzazione, essiccazione solare, essiccazione a microonde, essiccazione a spruzzo e tostatura. L'ebollizione è stata ritenuta necessaria per ridurre i batteri sporigeni, anche se il suo effetto sulle spore batteriche è moderato. In alcuni casi, sono stati applicati trattamenti termici più rigorosi, ma ciò potrebbe compromettere il profilo nutrizionale e le caratteristiche organolettiche dei grilli. Per i prodotti in scatola, in assenza di dati dettagliati sui parametri microbiologici, potrebbero essere considerati indicatori di sterilizzazione spore di *Clostridium botulinum* di tipo A, spore di *C. perfringens* o spore di *B. cereus*.

La fase di essiccazione può contribuire a una riduzione ulteriore della carica microbiologica, ma non deve essere considerata come l'unica fase di inattivazione dei microrganismi. La sua efficienza potrebbe essere incerta, data la diminuzione dell'attività dell'acqua durante la fase, che può aumentare

la resistenza dei batteri. Pertanto, è consigliabile combinare la fase di essiccazione con altre tecniche o trattamenti termici per ottenere un adeguato controllo microbiologico (Bourdoux et al., 2016).

Le polveri sono generalmente considerate microbiologicamente stabili a causa della loro bassa attività dell'acqua (A_w), che non favorisce la crescita batterica. Tuttavia, è importante notare che alcuni microrganismi possono rimanere in uno stato vitale nella polvere e possono moltiplicarsi quando la polvere viene reidratata durante la produzione o la preparazione degli alimenti. Questo aspetto deve essere preso in considerazione nella fabbricazione di prodotti alimentari che utilizzano polveri di *A. domesticus*, e potrebbero essere necessarie misure aggiuntive per garantire la sicurezza microbiologica. Per garantire la sicurezza microbiologica della polvere di *A. domesticus*, sarà necessaria una combinazione di strategie. Queste dovrebbero comprendere il monitoraggio della qualità degli insetti grezzi basato su criteri come batteri mesofili totali, batteri sporigeni, *B. cereus* e *S. aureus*, considerando i risultati raccolti. Inoltre, il processo di produzione deve includere una fase di trattamento termico ottimizzata in base ai livelli presenti nelle materie prime. L'implementazione di buone pratiche igieniche in tutte le fasi del processo di produzione potrebbe contribuire significativamente a migliorare la sicurezza microbiologica delle forme di *A. domesticus* (Ververis et al., 2022).

2.3 TENEBRIO MOLITOR

La larva di *Tenebrio molitor*, comunemente conosciuta come verme della farina o larva gialla della farina, è una delle specie più promettenti nell'ambito dell'allevamento degli insetti per diverse ragioni: valore nutrizionale in quanto ricche di proteine, grassi, vitamine e minerali e sostenibilità ambientale, infatti è spesso considerato più sostenibile rispetto all'allevamento di animali tradizionali.

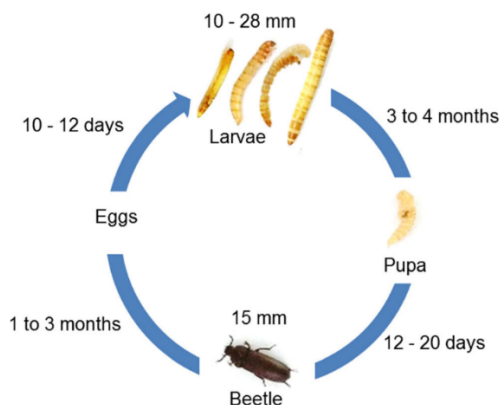


Figura 4: Il ciclo di vita di *Tenebrio molitor* (Ong et al., 2018, p. 2120)

Gli insetti richiedono meno cibo, acqua e spazio rispetto al bestiame convenzionale, contribuendo a ridurre l'impatto ambientale, inoltre possiedono un rapido ciclo di vita (Figura 4), il che significa che può essere allevato e riprodotto rapidamente. Ciò consente una produzione in serie più efficiente rispetto ad altre fonti di proteine.

Nel 2020, il comitato di esperti scientifici dell'EFSA dedicato alla nutrizione, ai nuovi alimenti e agli allergeni alimentari (NDA) ha emesso un parere in merito alla sicurezza dell'uso del verme giallo

della farina essiccato come nuovo alimento (NF), conformemente al Regolamento (UE) 2015/2283. Poco dopo, nel giugno 2021, è stata concessa l'autorizzazione per l'utilizzo di *T. molitor*, che rappresenta la prima specie di insetto ad essere approvata come nuovo alimento nell'Unione Europea (Yan et al., 2023).

Lo studio (Yan et al., 2023) si concentra sull'analisi microbiologica dei vermi della farina per valutare le condizioni igieniche e la qualità del prodotto alimentare. Sono stati utilizzati diversi indicatori microbiologici, come la conta aerobica totale, le *Enterobacteriaceae*, i batteri lattici, le endospore batteriche, la conta dei lieviti e delle muffe. I campioni freschi di vermi della farina sono stati prelevati in modo asettico e trattati entro i primi 10 minuti dall'arrivo al laboratorio. I campioni sottoposti a prove di elaborazione dell'energia sono stati conservati in frigorifero a 4 °C per meno di 24 ore prima dell'analisi, e i risultati sono stati espressi in log UFC/g.

Il modello di Bigelow è stato utilizzato per valutare l'efficacia dei trattamenti termici durante la lavorazione delle polveri dei vermi della farina (Tabella 5). Il valore D rappresenta il tempo necessario a una temperatura specifica per ottenere una riduzione logaritmica, riflettendo la resistenza di un microrganismo. Il valore z rappresenta l'aumento di temperatura necessario per ottenere una riduzione di dieci volte dei valori D, fornendo informazioni sulla resistenza relativa a diverse temperature distruttive e consentendo il calcolo di processi termici equivalenti. In sostanza, il valore z permette di stimare come varia la resistenza dei microrganismi a diverse temperature, contribuendo alla valutazione della sicurezza alimentare e della qualità igienica dei vermi della farina analizzati.

Biological Hazards	Thermal Inactivation Parameters			References
	T _{Ref} (°C)	D _{Ref} * (min)	z (°C) *	
<i>B. Cereus</i> (spore)	95	2	(8–12.5)	[38]
<i>C. botulinum</i> Type I (spore)	121.1	0.21	10	[39]
<i>C. perfringens</i> (spore)	100	(0.2–43)	(10.6–13.7)	[40]
<i>Cronobacter sakazakii</i>	60	(0.9–4.4)	5.6	[41]
<i>E. coli</i> STEC	60	(0.5–3)	(3.5–7)	[42]
<i>L. monocytogenes</i>	65	(0.2–2)	(4–11)	[43]
<i>Salmonella</i> spp.	60	(2–6)	6.5	[44]
<i>S. aureus</i>	60	(0.8–10)	7	[45]
<i>S. aureus</i> (enterotoxin)	121	(8.3–34)	(25–33)	[46]

* Values considered for calculation were the worst case, meaning the higher D_{ref} and z.

Tabella 5: Parametri di inattivazione di otto pericoli biologici significativi selezionati ($A_w > 0,9$) (Yan et al., 2023, p. 7)

Prima del trattamento termico, le larve fresche di vermi della farina presentavano una conta microbica elevata, con un conteggio medio di aerobi totali (TAC) di 8,4 log UFC/g. I batteri lattici (LAB) variavano tra 7,8 e 8,1 log UFC/g, mentre i conteggi per *Enterobacteriaceae* e lieviti/muffe erano rispettivamente superiori a 4,2 e 4,0 log UFC/g. Le endospore batteriche mostravano numeri più bassi, compresi tra 3,4 e 5,3 log UFC/g. Nonostante ciò, non sono stati rilevati patogeni come *Listeria monocytogenes*, *Salmonella* spp. e *Cronobacter sakazakii* (Tabella 6).

Sample	Batch	<i>E.coli</i>	Sulfite-reducing anaerobes	Coagulase-positive staphylococci	<i>Bacillus cereus</i>	<i>Clostridium perfringens</i>	<i>Listeria monocytogenes</i>	<i>Salmonella</i> spp.	<i>Cronobacter sakazakii</i>
A	1	<1.0	1.0**	<2.0	<1.0	<1.0	ND	ND	ND
	2	<1.0	<1.0	<2.0	<1.0	<1.0	ND	ND	ND
	Mean	<1.0	<1.0	<2.0	<1.0	<1.0	ND	ND	ND

** Estimated number; ND not detected

Tabella 6: Rilevamento dei pericoli microbiologici nelle larve fresche di *T. molitor* in termini di UFC/g. (Yan et al., 2023, p. 1 materiale supplementare)

I vermi della farina freschi sciacquati avevano conteggi microbici simili. Le polveri di vermi della farina ottenute da processi di lavorazione, soprattutto dopo trattamenti termici, mostravano una migliore qualità microbica rispetto ai vermi crudi. Ad esempio, i conteggi di TAC variavano da 4,4 a 5,7 log UFC/g, con conteggi più bassi di endospore batteriche, batteri lattici, *Enterobacteriaceae*, lieviti e muffe rispetto ai vermi freschi.

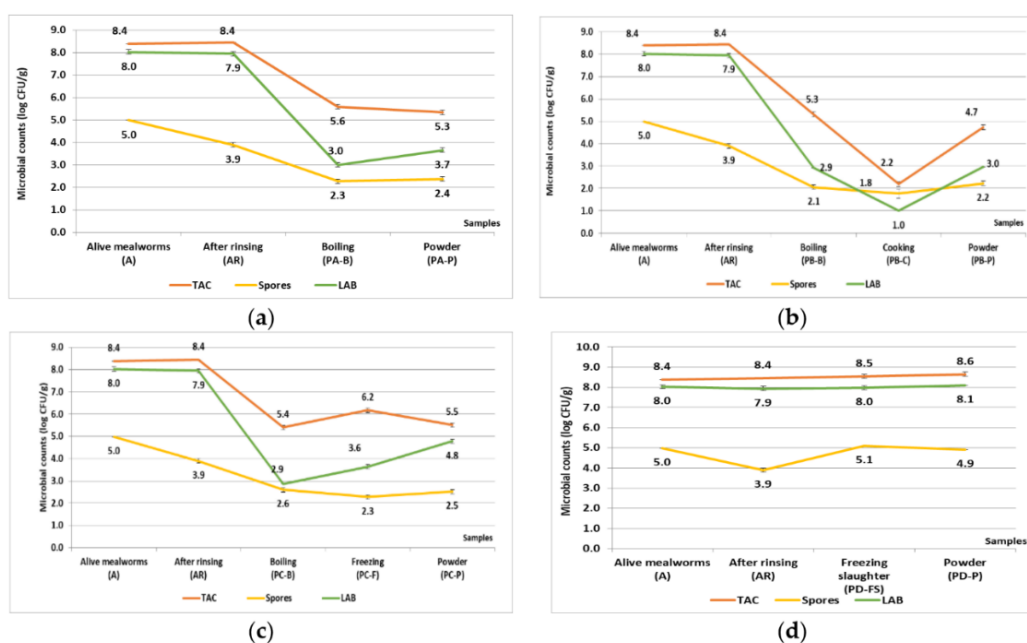


Figura 5: Variazione della conta microbica della via di lavorazione A (a), della via B (b), della via C (c), della via D (d) (TAC: conta vitale aerobica totale; spore: endospore batteriche; LAB: batteri lattici; i dati sono i valori medi di due lotti) (Yan et al., 2023, p. 8)

L'ebollizione a 100 °C per 5 minuti ha notevolmente ridotto la conta di batteri lattici (LAB) da 4,9 a 5,0 log UFC/g, seguita da una riduzione della conta aerobica totale (TAC) tra 2,8 e 3,1 log UFC/g, come mostrato nella Figura 5 a-c. In modo simile, la cottura a 80 °C per 30 minuti ha influenzato significativamente sia i LAB (>1,9 log UFC/g) che la TAC (3,1 log UFC/g) (Figura 5b). Le riduzioni nelle endospore batteriche sono state inferiori, comprese tra 1,3 e 1,8 log UFC/g per l'ebollizione e 0,3 log UFC/g per la cottura.

È da notare un leggero aumento della conta microbica (0,1-2,5 log UFC/g) dopo i trattamenti termici, attribuibile in parte alle fasi di essiccazione che concentrano i batteri nelle polveri. La Figura 5d mostra che durante la prova di lavorazione, la conta microbica (TAC, LAB, spore batteriche) non ha

mostrato cambiamenti significativi dopo il congelamento, la macellazione a -18 °C e la liofilizzazione. Tutti i risultati riportati sono valori medi di due lotti.

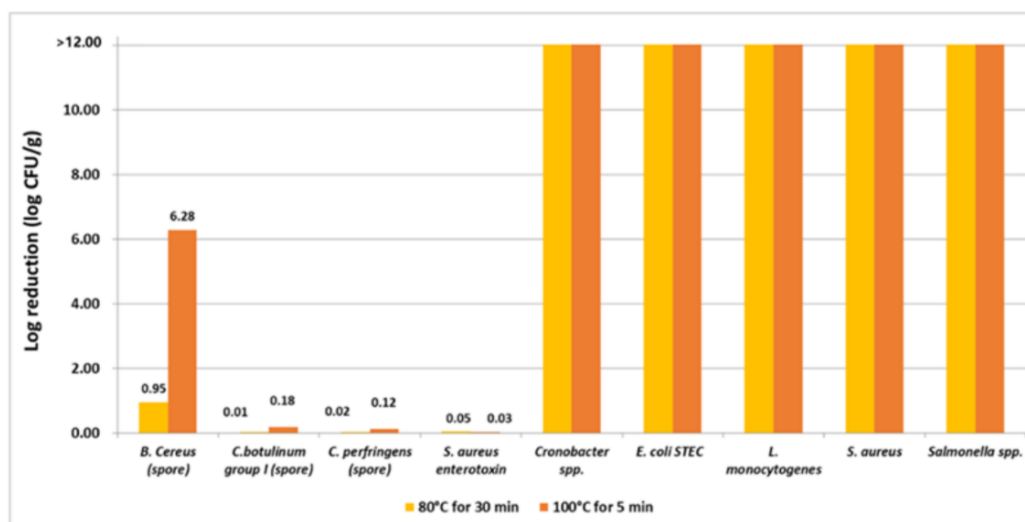


Figura 6: Riduzione logaritmica dei pericoli significativi stimata con D_{Ref} valori per i trattamenti termici (Yan et al., 2023, p. 9)

La Figura 6 mostra la riduzione logaritmica stimata dei pericoli significativi dopo diversi trattamenti termici utilizzando modelli microbiologici predittivi. Il riscaldamento applicato nelle prove di lavorazione ha determinato una riduzione di 0,01-6,28 log per i batteri sporigeni e l'enterotossina di *Staphylococcus aureus*, entrambi caratterizzati da una maggiore resistenza al calore (valori D più lunghi) rispetto ai batteri in forma vegetativa. Al contrario, questi ultimi hanno manifestato una notevole riduzione logaritmica, superiore a 346,52.

In generale, l'ebollizione a 100 °C per 5 minuti ha dimostrato un effetto maggiore sull'inattivazione microbica rispetto alla cottura a 80 °C per 30 minuti. Questo è particolarmente evidente nella differenza delle riduzioni logaritmiche tra i batteri sporigeni e l'enterotossina di *S. aureus* a seguito dei due trattamenti termici specificati.

L'efficacia di tali trattamenti nel migliorare la qualità microbica dipende dalla combinazione di durata e temperatura, nonché dalle caratteristiche specifiche dei microrganismi. In questo studio (Yan et al., 2023), l'ebollizione (100 °C per 5 minuti) nelle vie A, B e C e la cottura (80 °C per 30 minuti) nella via B sgrassata sono emerse come principali CCP nelle prove di lavorazione.

Questo studio conferma risultati simili riscontrati in altre ricerche, evidenziando riduzioni microbiche paragonabili a seguito di trattamenti termici. Ad esempio, sono stati osservati risultati simili per i seguenti indicatori: conta aerobica totale (TAC) (3,5-5,0 log UFC/g), *Enterobacteriaceae* (4,0-5,0 log UFC/g), batteri lattici (LAB) (4,0-5,5 log UFC/g), conta aerobica psicrotrofa (4,5-6,0 log UFC/g) e lieviti e muffe (2,0-4,0 log UFC/g). A meno di alcune eccezioni, questi indicatori si sono dimostrati relativamente sensibili ai trattamenti termici applicati.

Tre studi (Klunder et al., 2012; Vandeweyer et al., 2017; Caparros Megido et al., 2018) concordano sul fatto che una fase di riscaldamento, ad esempio l'ebollizione per 10 minuti, sia sufficiente per

inattivare le *Enterobacteriaceae* negli insetti, ma alcune endospore batteriche possono sopravvivere. Inoltre, questi studi hanno esaminato l'effetto dello sbollentamento e dell'essiccazione a microonde sul carico microbico delle larve di verme della farina. Indipendentemente dai tempi di trattamento (10 s, 20 s, 40 s), sia lo sbollentamento da solo che lo sbollentamento seguito dall'essiccazione a microonde rappresentano un trattamento termico efficace per uccidere le cellule vegetative, ma con poca o nessuna inattivazione delle spore.

Infine, è stato dimostrato che tecniche di cottura casalinghe come la cottura sottovuoto (74 °C per 1 ora), la frittura in padella (1 minuto) e l'ebollizione (100 °C per 1 minuto) sono in grado di ridurre il livello di conta aerobica totale (TAC) al di sotto del limite inferiore stabilito per la carne macinata (5,7 log UFC/g).

Questi risultati evidenziano l'efficacia di specifici trattamenti termici domestici nel ridurre la carica microbica nei vermi gialli della farina. In sintesi, i risultati dei modelli predittivi hanno delineato un andamento generale delle prestazioni di inattivazione termica su patogeni significativi nei vermi della farina, ma è importante considerare la diversa resistenza al calore dei batteri sporigeni, come *Bacillus spp.* e *Clostridium spp.*, che possono sopravvivere a trattamenti termici blandi (<100 °C). Alcuni studi hanno rilevato la presenza di spore di *C. perfringens* in insetti commercializzati. La sterilizzazione è stata identificata come il trattamento più efficiente per ridurre la conta microbica nei vermi della farina, ma richiede temperature più elevate (di solito 121-134 °C) che possono avere effetti negativi sulle proprietà organolettiche e sul valore nutrizionale dei prodotti alimentari (Yan et al., 2023).

3. VALORI NUTRIZIONALI

Oltre all'utilizzo tradizionale degli insetti nell'alimentazione di alcune comunità, essi emergono come uno degli elementi fondamentali per il futuro dell'alimentazione umana, principalmente in contesti dove scarseggiano fonti di cibo nutritive. La valutazione del valore nutrizionale degli insetti richiede l'analisi di vari fattori, tra cui la specie, lo stadio di sviluppo, la dieta e le modalità di lavorazione, tutti influenti sulla composizione nutrizionale degli insetti.

La rilevanza del valore nutrizionale degli insetti è strettamente connessa alla crescente richiesta di cibo e acqua della popolazione mondiale in espansione. Le previsioni indicano che la domanda di prodotti animali potrebbe raddoppiare tra il 2000 e il 2050, principalmente a causa dell'aumento della richiesta di prodotti a base di carne nelle nazioni in via di sviluppo. L'allevamento del bestiame, responsabile del 14% delle emissioni globali di gas serra, comporta anche un considerevole impatto sull'uso del suolo. Infatti, la produzione di 1 kg di proteine commestibili tramite i vermi della farina richiede solo il 10% della superficie terrestre necessaria per la produzione di carne bovina. In aggiunta, gli insetti commestibili presentano il beneficio di poter essere coltivati in modo verticale (Baiano, 2020).

3.1 PROTEINE E AMMINOACIDI ESSENZIALI

Il contenuto proteico è la parte più grande della composizione nutrizionale negli insetti. Gli insetti commestibili offrono un valore nutrizionale più elevato e un rapporto di efficienza proteica superiore rispetto ai prodotti di origine animale. Tuttavia, l'utilizzo di insetti come fonte di proteine è stato considerato una sfida a causa della loro composizione, spesso caratterizzata dalla presenza di grassi o chitina. Di conseguenza, le procedure di sgrassatura ed estrazione rappresentano un potenziale per migliorare la qualità delle proteine degli insetti commestibili (Rivas-Navia et al., 2023).

Il valore nutritivo delle proteine è influenzato da diversi fattori. In primo luogo, il contenuto proteico può variare significativamente tra gli alimenti. Inoltre, la qualità delle proteine gioca un ruolo chiave, e questa dipende dai tipi di aminoacidi presenti, sia essenziali che non essenziali, nonché dalla quantità che rispecchia i fabbisogni nutrizionali umani. Infine, la digeribilità delle proteine è un altro aspetto importante, che si riferisce alla facilità con cui gli aminoacidi contenuti negli alimenti possono essere digeriti e assorbiti dall'organismo (Van Huis, et al., 2017).

Order	Protein			Amino acids			Necessary amino acids			N amino acids/ amino acids		
	high	low	ave.	high	low	ave.	high	low	ave.	high	low	ave.
Ephemeroptera			66.26			65.97			23.81			36.09
Odonata	65.45	46.37	58.83	51.70	36.10	46.03	19.08	13.04	16.12	36.91	34.05	35.69
Isoptera				58.27	33.96	44.03	20.88	12.77	16.74	40.05	35.73	38.04
Orthoptera	65.39	22.80	44.10	57.51	20.23	38.87	19.92	7.98	13.95	39.45	34.64	37.05
Homoptera	57.14	44.67	51.13	53.19	32.59	42.45	21.92	12.38	16.34	41.21	35.42	38.21
Hemiptera	73.52	42.49	55.14	59.68	38.09	48.72	22.18	14.73	18.65	42.72	34.77	38.41
Coleoptera	66.20	23.20	50.41	62.97	13.27	39.74	28.17	4.45	17.13	50.49	26.65	42.79
Magaloptera			56.56			53.31			19.51			36.60
Lepidoptera	68.30	14.05	44.91	61.84	13.27	32.88	25.60	4.45	13.92	47.23	26.65	40.35
Diptera			59.39									
Hymenoptera	76.69	12.65	47.81	81.27	21.0	45.18	33.62	8.42	16.23	46.41	30.56	35.78

Tabella 7: Il contenuto di proteine e aminoacidi (% peso secco) degli insetti commestibili in alcuni ordini di insetti (Durst & FAO, 2010, p. 96)

Il contenuto proteico di 100 specie appartenenti a diversi ordini di insetti è stato esaminato in diversi studi (Tabella 7) (Durst & FAO, 2010). I risultati indicano che il contenuto proteico si situa nell'intervallo del 13-77% della sostanza secca, evidenziando una notevole variazione tra le diverse specie all'interno degli ordini di insetti. Il contenuto proteico può variare anche in base al trattamento termico applicato, influenzato dalla variazione del contenuto di acqua. Inoltre, il contenuto proteico è strettamente legato al tipo di alimentazione degli insetti, che può includere verdura, cereali o rifiuti organici. Ad esempio, in Nigeria, si è osservato che le cavallette alimentate con crusca presentano un contenuto proteico quasi il doppio rispetto a quelle alimentate con mais (Ademolu et al., 2010). Altro fattore determinante è lo stadio metamorfico degli insetti: gli adulti tendono ad avere un contenuto proteico superiore rispetto agli altri stadi di sviluppo.

Le proteine presenti nei cereali, che costituiscono alimenti fondamentali nelle diete globali, spesso presentano bassi livelli di lisina e, in alcuni casi, possono essere carenti di aminoacidi come triptofano (come nel caso del mais) e treonina. Tuttavia, in alcune specie di insetti, questi aminoacidi sono abbondantemente rappresentati, offrendo la possibilità di compensare questa carenza nutrizionale (Van Huis, et al., 2017).

In linea generale, gli insetti presentano notevoli quantità di proteine di elevata qualità, poiché contengono tutti gli aminoacidi essenziali nelle proporzioni consigliate sia dall'Organizzazione per l'Alimentazione e l'Agricoltura (FAO) che dall'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS). L'OMS ha diffuso un rapporto che delinea il fabbisogno giornaliero di aminoacidi essenziali per l'adulto sano medio, compresi neonati e bambini. Confrontando il profilo aminoacidico richiesto per un adulto sano con quello delle specie di insetti commestibili, emerge che la maggior parte degli insetti contiene tutti gli aminoacidi essenziali necessari per la crescita. Questa caratteristica potrebbe risultare particolarmente vantaggiosa per le comunità svantaggiate in Africa, dove la carenza di aminoacidi essenziali è comune (Bessa et al., 2020). Per esempio, i membri della famiglia tassonomica dei Gryllidae si distinguono per un significativo contenuto proteico desiderato (circa 20 g) e un basso apporto calorico (153 Kcal) per ogni 100 g di parte edibile. Tuttavia, è importante notare che presentano altresì livelli elevati di sodio indesiderato, pari a 152 mg. (Baiano, 2020b).

3.2 LIPIDI E ACIDI GRASSI

I lipidi e la composizione degli acidi grassi costituiscono il secondo nutriente predominante negli insetti commestibili, subito dopo le proteine. Rappresentano una percentuale di circa 10-50 g per 100 g di materia secca di grassi, includendo quantità significative di acidi grassi polinsaturi Omega-3 (n-3) e Omega-6 (n-6), che sono i principali acidi grassi essenziali necessari per il regolare funzionamento delle cellule nel corpo umano. Di conseguenza, potrebbero costituire una fonte potenzialmente utilizzabile di acidi grassi essenziali, sostituendo gli oli commestibili convenzionali nell'alimentazione umana e animale. Nonostante il riconoscimento globale degli insetti commestibili come alimenti e mangimi funzionali, l'importanza dei lipidi e dei loro componenti in essi contenuti non è stata completamente esplorata. Questa mancanza di approfondimento limita la domanda globale e l'accettabilità da parte dei consumatori.

Analogamente ai tessuti animali, il profilo lipidico degli insetti include fosfolipidi, trigliceridi, steroli, cere e vitamine lipofile, con una predominanza significativa di fosfolipidi e trigliceridi.

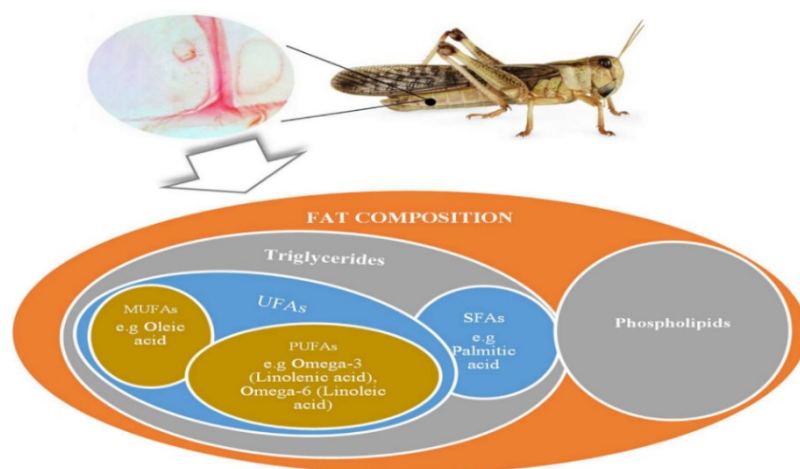


Figura 7: Composizione di lipidi e acidi grassi degli insetti edibili: *Locusta migratoria* (Kolobe et al., 2023, p. 2)

Tra gli esempi di fosfolipidi si annoverano fosfatidilcolina, fosfatidiletanolamina, fosfatidilinositoli, fosfatidilserina, sfingomieline e cardiolipine, particolarmente diffusi negli insetti come le locuste. Questi svolgono un ruolo significativo nel regolare l'assorbimento delle sostanze liposolubili e, inoltre, agiscono come lubrificanti per le articolazioni, il cuore e gli strati delle membrane polmonari, contribuendo al mantenimento della loro funzionalità sia negli esseri umani che negli animali.

I trigliceridi, invece, rappresentano un insieme di acidi grassi e gliceroli, costituendo la parte predominante del contenuto lipidico presente in alimenti come insetti commestibili, carne, pesce e oli vegetali. Il profilo degli acidi grassi negli insetti include sia acidi grassi saturi (SFA) che acidi grassi insaturi (UFA), con questi ultimi ulteriormente suddivisi in acidi grassi monoinsaturi (MUFA) e poliinsaturi (PUFA) (Figura 7). Gli esempi prevalenti di acidi grassi saturi (SFA) comprendono l'acido palmitico, stearico e arachidico. Allo stesso modo, all'interno della frazione lipidica, sono comunemente presenti acidi grassi monoinsaturi (MUFA) come miristoleico, palmitoleico e oleico. Per quanto riguarda gli acidi grassi poliinsaturi (PUFA), sia quelli della serie n-6, come l'acido linoleico e arachidonico, sia quelli della serie n-3, come l'acido linolenico ed eicosapentaenoico, sono comunemente riscontrati nella composizione lipidica. Gli acidi palmitico, oleico e linolenico rappresentano i SFA, MUFA e PUFA più diffusi riscontrabili in numerosi insetti. Tuttavia, sia gli esseri umani che altri mammiferi, inclusa la maggior parte del bestiame, non possiedono la capacità di sintetizzare acidi grassi essenziali, in particolare gli acidi α -linolenico e linoleico. Pertanto, l'utilizzo degli insetti come fonte di alimento funzionale potrebbe costituire un idoneo integratore alimentare per fornire questi aminoacidi essenziali al corpo umano.

Gli insetti commestibili presentano una notevole quantità di grassi accumulati principalmente per fornire energia durante le fasi di crescita e sviluppo. Di conseguenza durante le fasi iniziali di sviluppo (ad es. larva e pupa), si registrano livelli più elevati di frazione lipidica totale rispetto allo stadio

adulto. Inoltre, gli insetti dotati di un esoscheletro morbido, come le termiti, contengono una quantità maggiore di lipidi rispetto a quelli con un esoscheletro corporeo rigido, come le locuste. Altri studi hanno altresì dimostrato che gli insetti disidratati presentano un tenore lipidico che può raggiungere fino a 77 g/100 g di sostanza secca, con una significativa proporzione di acidi grassi essenziali. Tuttavia, la variabilità nell'accumulo di lipidi e acidi grassi tra le varie specie di insetti è influenzata da una complessa interazione di fattori, tra cui il tipo di specie, il sesso, lo stadio di riproduzione e di sviluppo, la temperatura ambientale, la stagione, la natura dei substrati alimentari, l'origine geografica e i metodi di trattamento, oltre a fattori biologici come l'attività enzimatica (Tabella 8).

Fatty acid composition (g/100 g) of selected edible insects.

Insect species	Stage	Compositions		Palmitic acid (C16:0)	UFA	MUFA	Oleic acid (C18:1)	PUFA	Linoleic acid (C18:2)	Omega 3 (n-3)	Omega 6 (n-6)	References
		Fats (%)	SFA									
Caterpillars (Lepidoptera)												
<i>Gonimbrasia belina</i>	L	15.15-23.38	32.50-46.50	3.20-31.90	-	7.60-36.00	34.20	26.12-48.17	6.0	3.70	1.60	Tang et al., 2019; Mariod, 2020; Ghosh et al 2020; Meyer-Rochow et al., 2021; Orkusz, 2021
<i>Tenebrio molitor</i>	L	24.70-43.08	25.35-30.12	18.00-28.20	-	43.27-66.77	40.86-60.63	3.11-31.37	2.84-29.68	1.61	29.68	Zielińska et al., 2017; Tang et al., 2019
<i>Rhynchophorus phoenicis</i>	L	21.10-69.78	39.90-54.07	27.13-34.20	-	41.78-55.00	35.05	2.79-22.85	2.20-19.50	0.00	2.20	Tang et al., 2019; Mariod, 2020; Anankware et al., 2021
Locusts (Orthoptera)												
<i>Schistocerca gregaria</i>	A	12.97-35.30	35.30-42.37	23.26-26.90	63.05	38.35-42.37	31.70-40.87	20.68-34.80	10.10-14.04	11.35-13.40	7.28-14.04	Fombong et al., 2021; Zielińska et al., 2017; Egonyu et al., 2021
<i>Locusta migratoria</i>	A	30.52	46.70-56.85	39.00-43.01	43.15	25.70-28.00	22.85-26.20	17.45-25.20	3.38-9.32	6.74	10.71	Sanchez-Muros et al., 2014; Fombong et al., 2021
Termites (Isoptera)												
<i>Macrotermes bellicosus</i>	A	26.30-48.00	46.72-49.46	38.35-46.54	50.54-53.20	14.93-44.64	12.84-41.74	4.90-38.27	5.03-34.42	0.00	8.16	Kinyuru et al., 2013; Tang et al., 2019; Meyer-Rochow et al., 2021; Anankware et al., 2021
<i>Macrotermes nigeriensis</i>	A	34.23-50.90	39.40	31.40	60.64	53.10	52.45-52.50	7.57-7.60	7.60-8.84	-	-	Fombong et al., 2018; Meyer-Rochow et al., 2021
<i>Macrotermes subhyalinus</i>	A	44.82-47.00	35.05-35.40	27.65-33.00	64.95-89.00	42.50-52.77	9.50-48.60	12.18-46.5	10.75-43.1	-	-	Kinyuru et al., 2013; Meyer-Rochow et al., 2021
Crickets (Orthoptera)												
<i>Gryllus assimilis</i>	A	7.00-32.00	43.72	25.85	56.29	27.49	25.03	28.80	26.13	1.99	26.81	Magara et al., 2021
<i>Gryllus bimaculatus</i>	A	11.90-20.74	3.25-38.02	2.16-27.73	7.46-62.46	3.13-32.91	2.91-31.76	4.33-29.54	4.16-27.33	0.08-1.15	4.25-27.92	Magara et al., 2021; Fombong et al., 2021
<i>Acheta spp.</i>	A	12.20-22.96	32.22-32.80	5.50-22.65	64.36-67.40	21.72-33.50	20.18-31.10	33.90-42.64	32.20-41.30	0.01-0.39	2.08-42.63	Tang et al., 2019; Magara et al., 2021; Orkusz, 2021
Flies (Diptera)												
<i>Hermetia illucens</i>	L	18.03-32.60	61.36-67.93	9.44-13.25	-	17.39-26.06	2.59-12.84	9.18-14.67	6.43-13.91	0.00	8.16	Makkar et al., 2014; Tang et al., 2019; Anankware et al., 2021
<i>Musca domestica</i>	L	11.49-24.31	33.40-44.74	9.63-27.60	-	29.46-47.67	18.30-21.75	16.11-17.00	8.84-16.44	2.94	13.17	Makkar et al., 2014; Tang et al., 2019; Anankware et al., 2021
Fatty acid requirements												
Humans	-	-	26.90	-	-	30.85	-	16.90	14.95	-	-	Tang et al., 2019
Poultry species (broilers, layers, turkey)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.83-2.00	NRC, 1994

Key: L-larvae; A- adult; '-' Not reported; SFA-Saturated fatty acids; TUSA- Total unsaturated fatty acids; MUFA- Monounsaturated fatty acids; PUFA- Polyunsaturated fatty acid5. Significant role of fats and fatty acids available in edible insects.

Tabella 8: Composizione di acidi grassi (g/100 g) in una selezione di insetti edibili (Kolobe et al., 2023, p. 3)

La presenza di acidi grassi essenziali gioca un ruolo determinante nella definizione della qualità degli oli derivati dagli insetti, rendendo cruciale la distinzione e la valutazione dei diversi tipi di acidi grassi riscontrati negli insetti commestibili. Nei grilli, nelle locuste, nelle mosche, nelle cimici e nelle termiti, gli acidi grassi preponderanti includono, rispettivamente, l'acido oleico (SFA), l'acido palmitico (MUFA) e l'acido linoleico (PUFA).

Per quanto concerne la quantità complessiva di acidi grassi saturi (SFA), le locuste e le termiti presentano un contenuto approssimativo di 32,22-64,53 g/100g di acidi grassi saturi totali, superando i livelli raccomandati per una dieta umana, che è di 26,90 g/100 g. Nonostante ciò, per garantire una salute ottimale negli esseri umani, rimane fondamentale il contributo degli acidi grassi polinsaturi eicosapentaenoico (EPA) (C20:5) e docosaesaenoico (DHA) (C22:6). Gli insetti analizzati (Kolobe et al., 2023) presentano una gamma di acidi grassi insaturi (UFA) totali compresa tra 32,22 e 64,53 g/100 g di sostanza secca (Tabella 8). Tuttavia, le larve di *T. molitor* e *Rhynchophorus phoenicis* sembrano particolarmente ricche di acidi grassi monoinsaturi, in particolare di acido oleico, rispetto ad altre specie di insetti. Inoltre, specie come *Gonimbrasia belina*, *Schistocerca gregaria*, *Locusta migratoria* e *Acheta spp.* presentano un elevato contenuto di acidi grassi polinsaturi, con *Acheta spp.* che registra la maggiore percentuale di acido linoleico (da 32,20 a 41,30 g/100 g di sostanza secca). I livelli elevati di acidi grassi polinsaturi (PUFA) negli insetti sembrano alterare la loro composizione lipidica, rendendoli presenti sotto forma di oli che rimangono liquidi a temperatura ambiente. Nonostante ciò, è importante notare che tutti gli insetti commestibili contengono quantità adeguate di acido linoleico, superando i livelli necessari sia per le specie umane che per gli animali da allevamento come polli da carne, galline ovaiole e tacchini. Inoltre, negli ortotteri come locuste e grilli, si registra una variazione degli acidi grassi n-3 e n-6 compresi tra 26,81 e 42,63 g/100 g di sostanza secca e tra 11,35 e 13,40 g/100 g di sostanza secca, rispettivamente. È interessante notare che gli acidi grassi n-3, come l'acido α -linolenico, sono particolarmente abbondanti nelle locuste rispetto agli oli vegetali comuni come girasole, oliva e soia. Questo suggerisce che gli insetti commestibili, considerati come alimenti funzionali, potrebbero costituire un'opzione per integrare gli acidi grassi essenziali necessari nelle diete umane. La conoscenza dell'accumulo di acidi grassi in vari insetti e del loro consumo sicuro potrebbe aiutare a promuovere l'allevamento di insetti come alternativa ai comuni alimenti destinati a fornire acidi grassi essenziali.

I lipidi e gli acidi grassi contenuti negli insetti commestibili svolgono un ruolo cruciale nel determinarne la struttura e le funzioni biologiche. Gli acidi grassi saturi, come l'acido palmitico e l'acido stearico, presenti negli insetti, sono noti per contribuire al miglioramento del gusto degli stessi. D'altra parte, gli acidi grassi insaturi, principalmente della serie n-3 e n-6, regolano la fluidità delle membrane e partecipano alla sintesi di sostanze come cere, feromoni, eicosanoidi e secrezioni difensive.

I comuni acidi grassi essenziali, come l'acido α -linolenico e linoleico, hanno un impatto significativo sul valore nutrizionale dell'olio derivato dagli insetti, riducendo i livelli di colesterolo rispetto all'acido oleico. Nei consumatori umani, i lipidi e gli acidi grassi provenienti dagli insetti e dai loro oli offrono supporto, protezione e isolamento a vari organi, oltre a facilitare il trasporto delle vitamine liposolubili essenziali nel corpo.

L'acido oleico ha la funzione primaria di ridurre la pressione sanguigna umana e di possedere proprietà curative nei confronti di malattie infiammatorie, immunitarie e cardiovascolari. L'acido α -linolenico (PUFA) rinvenuto negli insetti, come i bruchi, agisce come una sostanza nutraceutica che fornisce benefici protettivi al cervello, manifestando effetti antinfiammatori, riducendo l'acne e schiarendo la pelle nell'uomo.

Gli acidi grassi n-6 e n-3 (PUFA) giocano un ruolo chiave nella produzione degli enzimi necessari per la sintesi degli acidi grassi a catena lunga. Inoltre, gli acidi grassi n-3 svolgono un ruolo strutturale nella membrana lipidica, particolarmente nel tessuto nervoso e nella retina.

Inoltre, è stato notato che l'abbondante presenza di fitosteroli in alcune specie di insetti, come le locuste, è correlata alla diminuzione dei livelli di colesterolo nell'organismo umano (Kolobe et al., 2023).

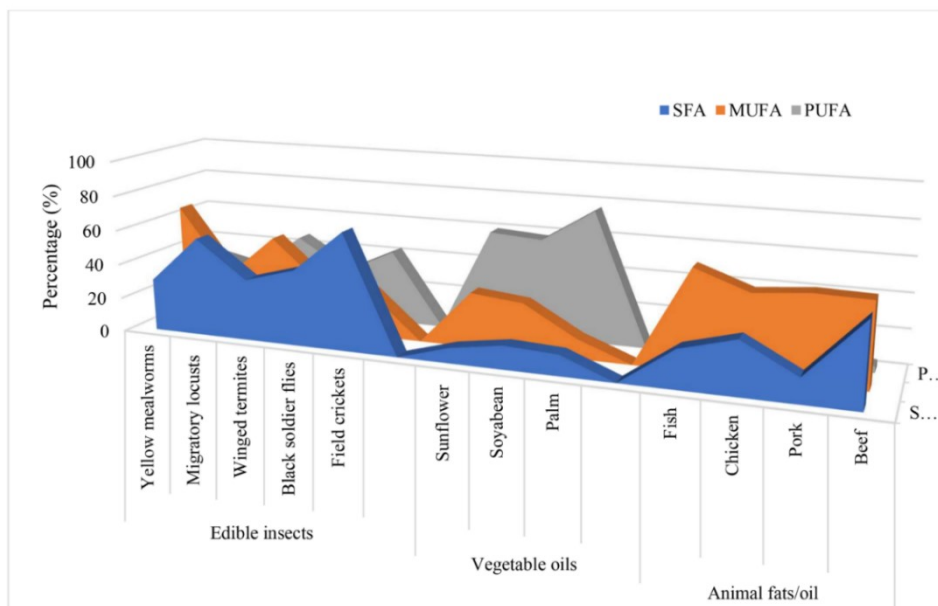


Figura 8: Confronto del profilo dei grassi e degli acidi grassi (%) nei comuni materiali alimentari e negli insetti commestibili. (Kolobe et al., 2023, p. 5)

La Figura 8 confronta la composizione in acidi grassi degli insetti commestibili con quella dei materiali alimentari tradizionali, inclusi gli oli di girasole, soia e palma, l'olio di pesce, e i grassi presenti in pollo, maiale e manzo. Risulta evidente che gli insetti contengono quantità più significative di acidi grassi rispetto ai materiali alimentari convenzionali, sia di origine vegetale che animale. I loro livelli di acidi grassi polinsaturi (PUFA) superano quelli dei grassi animali, ma sono leggermente inferiori e comparabili a quelli degli oli vegetali.

Gli oli derivati dagli insetti hanno un contenuto di acidi grassi saturi (SFA) inferiore rispetto a carni come manzo e maiale, rendendoli potenziali integratori, poiché gli insetti contengono proporzioni più elevate di acidi grassi insaturi (UFA), desiderabili per il consumo umano rispetto agli SFA.

Ulteriormente, insetti commestibili come cimici e termiti, considerati fonti di acidi grassi polinsaturi (PUFA), potrebbero contribuire a ridurre le carenze di acido α -linolenico e linoleico nelle diete di famiglie con limitato accesso a alimenti fondamentali contenenti sufficienti acidi grassi essenziali. Questi PUFA influenzano direttamente il sapore degli alimenti, migliorandone l'appetibilità.

L'olio estratto da diversi insetti commestibili potrebbe essere purificato e aggiunto alle diete umane come olio da cucina o trasformato in un sottoprodotto come la margarina, fungendo da sostituto agli oli vegetali ricchi di acidi grassi n-3 e n-6. Altri studi hanno evidenziato il ruolo degli acidi grassi essenziali nella salute e nello sviluppo di bambini e neonati. Pertanto, l'inclusione di insetti

commestibili nelle diete umane potrebbe costituire un contributo significativo al miglioramento delle condizioni di vita in comunità soggette a rischi di malnutrizione (Kolobe et al., 2023).

3.3 MINERALI e VITAMINE

I micronutrienti, che includono minerali e vitamine, giocano un ruolo cruciale nella determinazione del valore nutrizionale degli alimenti. Negli insetti, il valore nutritivo è fortemente influenzato dalla fase metamorfica e dalla dieta, rendendo quindi limitate le generalizzazioni sul contenuto di micronutrienti delle diverse specie di insetti. Inoltre, il contenuto di minerali e vitamine negli insetti edibili, come riportato in letteratura, mostra una notevole variabilità tra le diverse specie e gli ordini. In generale, il consumo dell'intero corpo dell'insetto tende ad aumentare il suo contenuto nutrizionale.

I minerali rivestono un ruolo essenziale nei processi biologici, e la dose giornaliera raccomandata (RDA) e l'assunzione adeguata vengono comunemente utilizzate per quantificare l'introito quotidiano di minerali. Molti insetti commestibili presentano un contenuto di ferro uguale o superiore a quello del bovino. Ad esempio, mentre il contenuto di ferro del bovino è di 6 mg per 100 g di peso secco, il bruco *mopane* può vantare un contenuto di ferro compreso tra 31 e 77 mg per 100 g. Le locuste (*Locusta migratoria*) hanno un contenuto di ferro variabile tra 8 e 20 mg per 100 g di peso secco, a seconda della loro dieta.

Gli insetti commestibili rappresentano innegabilmente una ricca fonte di ferro, e la loro inclusione nella dieta quotidiana potrebbe contribuire a prevenire carenze di ferro e a contrastare l'anemia, soprattutto nei Paesi in via di sviluppo. Secondo l'OMS, la carenza di ferro è la patologia nutrizionale più comune e diffusa a livello mondiale.

Oltre al ferro, la carenza di zinco rappresenta un altro problema significativo per la salute pubblica, specialmente per la salute di bambini e madri.

Le vitamine, essenziali per stimolare i processi metabolici e rafforzare le funzioni del sistema immunitario, sono presenti in molti insetti commestibili. Nei diversi insetti è stata dimostrata la presenza di tiamina (vitamina B1), coenzima fondamentale nel metabolismo dei carboidrati in energia, con variazioni da 0,1 a 4 mg per 100 g di sostanza secca. La riboflavina (vitamina B2), che svolge una funzione metabolica principale, oscilla tra 0,11 e 8,9 mg per 100 g. A titolo di confronto, il pane integrale offre rispettivamente 0,16 mg e 0,19 mg di B1 e B2 per 100g.

La vitamina B12, presente solo negli alimenti di origine animale, è ben rappresentata nelle larve del verme della farina, *T. molitor* (0,47 pg per 100 g), e nel grillo domestico, *A. domesticus* (5,4 pg per 100 g negli adulti e 8,7 pg per 100 g nelle ninfe). Tuttavia, molte specie di insetti mostrano livelli modesti di vitamina B12, rendendo necessarie ulteriori ricerche per individuare insetti commestibili ricchi di vitamine del gruppo B.

Retinolo e β -carotene (vitamina A) sono stati individuati in alcuni lepidotteri con valori compresi tra 32 e 48 μ g per 100 g e tra 6,8 e 8,2 μ g per 100 g di sostanza secca, rispettivamente, per retinolo e β -carotene. Tuttavia, in larve di verme della farina (*T. molitor*), larve di caimano (*Zophobas moro*) e grillo domestico (*A. domesticus*), i livelli di queste vitamine erano inferiori a 20 μ g per 100 g e a meno di 100 μ g per 100 g, rispettivamente. In generale, gli insetti non rappresentano la fonte primaria di vitamina A.

La vitamina E è presente in quantità significative nelle larve del punteruolo della palma, ad esempio, con 35 mg e 9 mg di d-tocoferolo e B-tocoferolo per 100 g, rispettivamente. La dose giornaliera raccomandata è di 15 mg. Nel baco da seta (*Bombyx mori*) macinato e liofilizzato, il contenuto di vitamina E è relativamente elevato, raggiungendo 9,65 mg per 100 g (Van Huis et al., 2017).

3.4 COMPOSTI BIOATTIVI

Gli insetti commestibili sono collegati a una diversità di composti bioattivi che mostrano proprietà antinfiammatorie, antimicrobiche, antiangiogeniche, antiproliferative e antiossidanti.

I composti fenolici sono stati individuati in diverse strutture anatomiche degli insetti, come le secrezioni della cuticola e della ghiandola di difesa di esemplari di *T. molitor*. È stata riconosciuta l'importanza della composizione aminoacidica e della sequenza peptidica nel determinare le proprietà antiossidanti di un idrolizzato proteico. Studi hanno evidenziato che i peptidi a basso peso molecolare presenti negli insetti mostrano un effetto antiossidante più pronunciato, attribuibile alla maggiore esposizione degli amminoacidi per interagire con i radicali liberi. L'aumentato assorbimento osservato negli idrolizzati di insetti potrebbe essere associato a peptidi a peso molecolare ridotto, in particolare di- o tri-peptidi, con possibili implicazioni sulla loro capacità antiossidante complessiva (Rivas-Navia et al., 2023).

3.5 PROFILO NUTRIZIONALE DI ACHETA DOMESTICUS

Ranges of reported nutrients and other relevant components of undried and dried *Acheta domesticus* forms, on a product basis.

Undried <i>A. domesticus</i> forms				Dried <i>A. domesticus</i> forms			
Proximate parameters (g/100 g)	Minerals (mg/kg)	Vitamins (mg/kg)	Other relevant parameters (g/100 g)	Proximate parameters (g/100 g)	Minerals (mg/kg)	Vitamins (mg/kg)	Other relevant parameters (g/100 g)
Moisture Content: 52.29–78.9	Calcium: 366–1402.5	Biotin: 0.21	Total sterols: 0.11	Moisture Content: 0.6–9.43	Boron: 1.3–3.0	Biotin: 0.99–1.12	Cholesterol: 0.1–0.44
Crude Protein: 13.1–24.9	Chlorine: 2210–2270	Folic acid: 1.07–1.50	Cholesterol: 0.09–0.56	Crude Protein: 41.8–75.2	Calcium: 730–3150.4	Folic acid: 1.42–1.99	Phospholipids: 3.52
Fat: 1.59–17.8	Chromium: 0.68–1.02	Niacin: 1.1–38.4	Campesterol: 0.003	Fat: 7.5–35	Chromium: 0.18–2.79	Niacin: n.d. - 45.1	n-3: 0.07
TFA: 4.19 – 5.35	Copper: 5.1–9.2	Pantothenic acid: 20.3–26.3	Sigmasterol: 0.01	TFA: 12.88–24.8	Copper: 17.9–50.8	Pantothenic acid: 43.0–44.2	n-6: 1.05
SFA: 1.1–2.72	Iodine: 0.145–0.28	Riboflavin: n.d. - 17.4	β-sitosterol: 0.006	SFA: 4.63–7.63	Iodine: 0.4 – 0.57	Riboflavin: 0.97–45.8	n-6/n-3: 2–40.9
MUFA: 0.76–2.61	Iron: 9.7–40.8	Thiamin: n.d. - 12.1	Total phytosterols: 0.11	MUFA: 3.22–3.88	Iron: 44.40–82.47	Thiamin: 2.4–16.6	Chitin: 6.1–8.34
PUFA: 0.45–1.53	Magnesium: 193–403	Vitamin A (retinol): n.d. - 0.23	free fatty acids: 0.12–4.05	PUFA: 1.36–6.76	Magnesium: 612–1279.75	Vitamin A (retinol): n.d. - 0.40	Phytic acid: 0.1–0.14
Total Carbohydrates: 1.1–4.1	Manganese: 4.6–27.2	Vitamin B12: 0.01–20.4	Phospholipids: 1.5–2	Total Carbohydrates: 4.90–6.47	Manganese: 15.1–28	Vitamin B12: n.d. - 0.09	Hydrogen cyanide: < 5 (mg/kg)
Digestible Carbohydrates: < 0.5–6.11	Molybdenum: 0.17–0.40	Vitamin B6: n.d. - 2.3	n-6/n-3: 12.82–18.54	Digestible Carbohydrates: 2.09–15.96	Molybdenum: n.d. - 635	Vitamin C: 239	Oxalic acid: < 100 (mg/kg)
Dietary fibre: 1.09–2.9	Phosphorus: 126.9–3105.3	Vitamin C: 18–92	Chitin: 1.14–2.08	Dietary fibre: 3.9–9.58	Phosphorus: 323.7–9117.11	Vitamin E: 36.8–3320.6	Tannins: 0.7
ADF: 1.78–3.2	Potassium: 2408.7–3999	Vitamin E: 11.5–151.3		ADF: 7.70–11.78	Potassium: 3653.55–12800	α-tocopherol: 0.93–2.16	Total polyphenols: 0.72–0.8
NDF: 3.6–6.8	Selenium: n.d. - 0.19	Vitamin K: 78.4		NDF: 20.59–30.64	Selenium: n.d. - 0.43	β-tocopherol: n.d.	Trypsin inhibitor: < 0.5 (mg/kg)
Ash: 0.6–2.37	Sodium: 1110–3775.1	β-carotene: < 2–2.5		Ash: 3–11.5	Sodium: 950.49–8633.4	γ-tocopherol: 2.26–3.32	
Energy (KJ/100 g): 397.1–981.27	Zinc: n.d. - 68			Energy (KJ/100 g): 1995.18–2300	Sulphur: 0.59	δ-tocopherol: n.d.	
					Zinc: 21.79–240		

TFA: total fatty acids; SFA: saturated fatty acids; MUFA: monounsaturated fatty acids; PUFA: polyunsaturated fatty acids; ADF: acid detergent fibre; NDF: neutral detergent fibre; n-3: omega 3 fatty acids; n-6: omega 6 fatty acids;

Tabella 9: Valori di nutrienti e altri componenti rilevanti delle forme di *Acheta domesticus* non essiccate ed essiccate (Ververis et al., 2022, p. 7)

In *A. domesticus* l'acqua è il componente principale, seguita da proteine e grassi (Tabella 9). Gli acidi grassi polinsaturi, monoinsaturi e saturi hanno intervalli simili, con l'acido palmitico come principale acido grasso saturo. L'acido linoleico è il principale acido grasso polinsaturo. Il contenuto di carboidrati è del 2-16%, la fibra è tra il 4-10%, e la Tabella 9 documenta anche la presenza di vitamine, minerali e antinutrienti (acido ossalico, acido cianidrico e inibitori della tripsina). I risultati, espressi su base lipidica e riportati nella Tabella 9, indicano che i livelli di colesterolo potrebbero suscitare preoccupazioni per la salute umana, mentre i livelli di fitosteroli potrebbero essere considerati positivi dal punto di vista nutrizionale, specialmente considerando l'utilizzo del grasso di *A. domesticus* come ingrediente alimentare.

Acheta domesticus, specialmente nei campioni essiccati, presenta una vasta gamma di minerali in quantità considerevoli. Tuttavia, i valori riportati per i minerali mostrano significative variazioni tra campioni non essiccati ed essiccati, potenzialmente influenzate dalla rimozione del contenuto intestinale prima dell'abbattimento o da una fase di digiuno. Nei campioni essiccati, il livello di sodio, un minerale rilevante in questa specie, è relativamente elevato, raggiungendo fino a ~8600 mg/kg, superando l'assunzione giornaliera raccomandata. La specie di insetto ha un elevato fabbisogno naturale di sodio, ma l'esposizione finale dei consumatori dipende dalla percentuale di incorporazione nelle diverse tipologie di alimenti (Ververis et al., 2022b).

3.6 PROFILO NUTRIZIONALE DI TENEBRIO MOLITOR

	Alive Larvae	Powder A	Powder B	Powder C	Powder D
Dry matter (DM, g/100 g)	29.48 ^d ± 0.08	97.95 ^a ± 0.02	97.87 ^a ± 0.13	95.54 ^c ± 0.18	96.83 ^b ± 0.15
Crude protein (% DM)	66.08 ^b ± 0.41	57.90 ^{cd} ± 1.01	70.04 ^a ± 1.42	58.37 ^c ± 0.36	55.62 ^d ± 0.56
Crude fat (% DM)	19.94 ^{bc} ± 1.33	28.21 ^a ± 0.91	16.84 ^c ± 0.23	23.63 ^{ab} ± 4.19	24.51 ^{ab} ± 0.32
Ash (% DM)	4.60 ^a ± 0.04	3.14 ^e ± 0.09	3.71 ^c ± 0.06	3.44 ^d ± 0.14	4.03 ^b ± 0.11
Carbohydrates (% DM)	9.38 ^b ± 1.67	10.75 ^{ab} ± 1.56	9.41 ^b ± 1.61	14.55 ^{ab} ± 4.01	15.84 ^a ± 0.79
a _w	0.99 ^a ± 0.00	0.08 ^c ± 0.00	0.16 ^b ± 0.00	0.17 ^b ± 0.01	0.17 ^b ± 0.00

Different letters within the same row indicate significant ($p < 0.05$) differences between means.

Tabella 10: Composizione ed Aw di larve fresche di *Tenebrio molitor* e polveri diverse (Medie ± deviazione standard) (Yan et al., 2023, p. 9)

Sono state studiate le composizioni dei vermi gialli della farina freschi e in polvere. Le larve fresche di vermi della farina presentano una percentuale del 29,5 g/100 g di sostanza secca (SS), con il 66,1% di proteina grezza (pari al 19,5% del totale), il 19,9% di grasso grezzo (pari al 5,9% del totale) e il 4,6% di ceneri (rappresentanti l'1,4% del totale) (Tabella 10).

Le polveri di vermi della farina, senza estrazione dell'olio (A, C, D), mostrano quantità significative di proteine (variando dal 55,6% al 58,4% della SS), con un notevole aumento fino al 70,0% nella polvere B sgrassata. Il contenuto di grassi nelle polveri A, C e D varia tra il 23,6% e il 28,2% sulla base di sostanza secca, mentre, come previsto, il contenuto di grassi nella polvere sgrassata (B) risulta significativamente inferiore (16,84% della sostanza secca). La percentuale di sostanza secca nella polvere di verme della farina varia notevolmente a seconda del processo di lavorazione (97,95%, 97,87%, 95,54% e 96,83%, rispettivamente, per le polveri A, B, C e D).

4. RISCHI PER LA SALUTE DEL CONSUMATORE

Un elemento fondamentale di ogni piano HACCP è la valutazione dei rischi. Inizialmente, il team HACCP deve individuare tutti i rischi che possono essere ragionevolmente anticipati (definiti come rischi potenziali), creando un "ampio elenco" di eventuali situazioni che possono verificarsi nel prodotto. Tale identificazione deve considerare le materie prime, i fattori di produzione e gli ingredienti impiegati (incluso il substrato di allevamento in questo caso), il processo produttivo complessivo attuato in loco, le condizioni d'uso previste da parte dell'utente finale o del consumatore, nonché gli utilizzi impropri ragionevolmente prevedibili (Kooh et al., 2020).

4.1 RISCHI MICROBIOLOGICI

4.1.1 CARICA MICROBICA TOTALE ED ENTEROBATTERIACEE

La letteratura scientifica presenta una carenza di studi specifici sulla sicurezza microbiologica degli insetti utilizzati come alimenti. Esaminare la capacità degli insetti vettori di trasmettere agenti patogeni agli animali da allevamento fornisce informazioni cruciali sulla loro presenza, prevalenza e capacità di sopravvivenza in diversi ospiti. Ricerche condotte su quattro specie commerciali di insetti (*Z. morio*, *T. molitor*, *G. mellonella* e *A. domesticus*) hanno evidenziato un'elevata carica microbica totale (da 10^5 a 10^6 UFC/g) in campioni provenienti da un allevamento a ciclo chiuso. Questa carica era prevalentemente composta da batteri Gram-positivi, inclusi coliformi fecali e totali. La popolazione batterica Gram-positiva era principalmente rappresentata da *Micrococcus spp.*, *Lactobacillus spp.* (con una concentrazione di 10^5 UFC/g) e *Staphylococcus spp.* (circa 10^3 UFC/g). È interessante notare che *Salmonella spp.* e *Listeria monocytogenes* non sono mai state rilevate nei campioni analizzati (Belluco et al., 2013).

La *Salmonella spp.* è una delle principali cause di malattie alimentari globali, contribuendo al 30% degli episodi di contaminazione alimentare registrati in Europa nel 2018. Questo patogeno è comunemente presente nel tratto gastrointestinale di animali come suini, bovini e pollame, persistendo per mesi nelle loro feci e nell'ambiente circostante. La trasmissione all'uomo avviene principalmente attraverso il consumo di alimenti crudi o poco cotti. Sebbene molti casi di salmonellosi siano lievi, alcuni possono essere gravi, con la gravità influenzata da fattori legati all'ospite e al sierotipo specifico di *Salmonella spp.*

Diversi studi hanno documentato l'assenza di *Salmonella spp.* in campioni di insetti commestibili freschi e trasformati, prelevati in quantità di 25 grammi. Tuttavia, la preoccupazione persiste in quanto ricerche hanno dimostrato che *Salmonella spp.* può sopravvivere nel substrato utilizzato durante l'allevamento, potendo essere successivamente trasmessa agli insetti. Inoltre, la presenza di *Salmonella spp.* è stata ampiamente rilevata in coleotteri tenebrionidi, coleotteri, mosche, scarafaggi, farfalle, mosche domestiche, nonché in larve di *T. molitor* (Kooh et al., 2020).

Tuttavia, dal punto di vista alimentare, l'attenzione principale non riguarda solo la composizione della microflora negli insetti vivi, bensì la capacità di immagazzinare e conservare in modo sicuro i prodotti derivati. In questo contesto, uno studio (Klunder et al., 2012) ha valutato il contenuto microbiologico di insetti commestibili freschi, lavorati e conservati.

Lo studio si è concentrato sul verme della farina (*T. molitor*) e sul grillo (*A. domesticus* e *Brachytrupes sp.*), analizzati nelle condizioni di freschezza, dopo bollitura, dopo la tostatura, freschi e conservati (in ambiente refrigerato e a temperatura ambiente), nonché dopo la bollitura e la conservazione (in ambiente refrigerato e a temperatura ambiente).

I risultati hanno evidenziato che negli insetti freschi è possibile isolare le *Enterobacteriaceae* e i batteri sporigeni, ma generalmente non appartengono a specie patogene. Il processo di bollitura per 5 minuti si è dimostrato efficiente nell'eliminare le *Enterobacteriaceae*, ma non i batteri sporigeni. Di conseguenza, è stata consigliata la conservazione a temperatura di refrigerazione (da 5 a 7 °C). Inoltre, una temperatura compresa tra 5 e 7 °C è stata efficace nel prevenire il deterioramento degli insetti bolliti (rimasti stabili per più di 2 settimane), ma non ha avuto lo stesso effetto sugli insetti freschi. La tostatura da sola non è stata in grado di eliminare completamente le *Enterobacteriaceae*; pertanto, è stata consigliata una breve bollitura prima della tostatura.

Gli autori hanno altresì dimostrato che la fermentazione dell'acido lattico è stata efficace nell'inattivare le *Enterobacteriaceae* e nel mantenere stabili i batteri sporigeni residui a livelli accettabili, impedendo la loro germinazione e crescita.

Escherichia coli è un batterio Gram-negativo presente nell'intestino inferiore di organismi a sangue caldo. Alcuni ceppi, come quelli produttori della tossina Shiga (STEC), possono causare gravi malattie alimentari, specialmente nei bambini. Le infezioni da STEC possono variare da disturbi intestinali lievi alla sindrome emolitico-uremica (SEU) o malattie renali gravi, e talvolta alla morte. Fonti principali di focolai da STEC sono carne cruda, latticini e verdure. Gli insetti non sono considerati un serbatoio primario di STEC, e in diversi studi, *E. coli* non è stato rilevato in tutti i campioni, sia processati che freschi (Kooh et al., 2020).

4.1.2 STAFILOCCOCCHI COAGULASI POSITIVI

Staphylococcus aureus rappresenta un comune patogeno opportunista per gli esseri umani ed è ampiamente diffuso in natura, facendo parte della flora saprofitica della pelle e delle mucose di uomini e animali. Di conseguenza, la presenza di *S. aureus* negli insetti commestibili potrebbe verificarsi a causa di contaminazioni durante la manipolazione o la lavorazione. Questo batterio ha la capacità di produrre diverse tossine, inclusa l'enterotossina stafilococcica (SE), una proteina sintetizzata solo da coloro che portano specifici geni, responsabile di epidemie di origine alimentare associate a *S. aureus*. La crescita prolifica di questo batterio può verificarsi nell'intervallo di temperatura compreso tra 5 e 40 °C. Le enterotossine stafilococciche (SE) mostrano resistenza al trattamento termico, al congelamento e all'essiccazione.

S. aureus è stato individuato in diverse specie di insetti commestibili, sia freschi che trasformati, tra cui le larve di *T. molitor*. Sebbene *S. aureus* sia sensibile al trattamento termico, gli insetti commestibili trasformati (ad esempio, bolliti e salati) forniscono un ambiente favorevole alla sua crescita, poiché è alofilo e può dominare in assenza di competizione. Le caratteristiche fisico-chimiche delle polveri di vermi della farina sono compatibili con la sopravvivenza o la crescita di *S. aureus*, data la sua resistenza all'attività dell'acqua bassa. Dato l'ampio riscontro di *S. aureus* nella microflora di numerosi insetti commestibili e prodotti a base di insetti, unitamente alla capacità di

produrre enterotossine resistenti al calore, è essenziale implementare misure di controllo atte a prevenire la contaminazione e la proliferazione di *S. aureus* (Kooh et al., 2020).

4.1.3 LISTERIA MONOCYTOGENES

La listeriosi, una delle più gravi malattie di origine alimentare, è causata dal batterio *Listeria monocytogenes*. Pur avendo un'incidenza bassa, i notevoli tassi di ospedalizzazione e mortalità (10-30%) associati a questa infezione la rendono una preoccupazione rilevante per la salute pubblica. *L. monocytogenes* è un batterio ubiquitario del suolo, diffuso in modo esteso e resistente nell'ambiente. La sua natura psicrotrofa consente una crescita lenta a temperature di refrigerazione, e presenta la capacità di persistere nelle aree e nelle attrezzature utilizzate per la lavorazione degli alimenti.

Fino ad ora, non risultano isolamenti diretti di *L. monocytogenes* da insetti commestibili mediante tecniche colturali. Tuttavia, è stato riscontrato *Listeria sp.* in polvere di grillo e larve di vermi della farina processati provenienti dai Paesi Bassi e dal Belgio, con un'abbondanza relativamente limitata. Inoltre, *Listeria ivanovii* è stata individuata in larve essiccate di *T. molitor*. Ulteriormente, mediante il metodo del numero più probabile (MPN), è stata isolata *Listeria sp.* da un campione di verme della farina salato con una bassa contaminazione (circa 0,9 MPN/g) (Kooh et al., 2020).

4.1.4 BATTERI SPORIGENI

Il *Bacillus cereus* è ampiamente diffuso in natura, comunemente presente nel suolo e associato a pratiche inadeguate di manipolazione e conservazione degli alimenti, nonché a un raffreddamento improprio dei cibi cotti. Questo microrganismo provoca due tipi di malattie di origine alimentare: un'intossicazione emetica (vomito) derivante dall'assunzione di una tossina preformata (cereulide) presente nel cibo e un'infezione diarroica causata dall'ingestione di cellule/spore batteriche che producono enterotossine nell'intestino tenue. Recenti relazioni del gruppo di esperti scientifici sui pericoli biologici (BIOHAZ) dell'Autorità europea per la sicurezza alimentare (EFSA) indicano che la maggior parte dei casi di malattie di origine alimentare è stata associata a concentrazioni superiori a 10^5 UFC/g di *B. cereus* nel veicolo alimentare, con alcuni casi che raggiungono 10^8 UFC/g nelle infezioni diarroiche.

Bacillus spp. è stato frequentemente individuato in vari insetti commestibili e prodotti a base di insetti. Uno studio specifico si è concentrato sull'identificazione dei batteri *B. cereus* isolati da insetti commestibili trasformati, come vermi della farina, grilli, grilli talpa e bachi da seta. I risultati hanno rivelato una conta batterica sporigena aerobica significativamente elevata (da 1,6 a 8,1 log UFC/g con il 25% dei campioni analizzati), con una concentrazione di *B. cereus* compresa tra 4 e 6,6 log UFC/g. Un altro studio ha riportato una conta di *B. cereus* superiore a 5 log UFC/g nella polvere di grillo commercializzata. Inoltre, le spore di *B. cereus* possono sopravvivere nelle polveri di vermi della farina e proliferare dopo la reidratazione. A causa della sua presenza diffusa nel suolo e negli insetti, nonché della sua resistenza ai trattamenti industriali e ad altri stress, *B. cereus* rappresenta una delle principali preoccupazioni legate al consumo di insetti commestibili (Kooh et al., 2020).

Le tossine prodotte dal *Clostridium botulinum* rappresentano una delle sostanze più letali conosciute, in grado di bloccare le funzioni nervose e provocare insufficienza respiratoria e paralisi muscolare.

Le spore di *C. botulinum*, dotate di resistenza al calore, sono ampiamente diffuse nell'ambiente e, in condizioni prive di ossigeno, germinano, si sviluppano e rilasciano neurotossine. Va notato che le tossine botuliniche sono termolabili. Il botulismo alimentare, derivante dal consumo di alimenti trasformati in modo inadeguato (come prodotti confezionati in atmosfere a basso contenuto di ossigeno o inscatolati in casa), è una malattia rara ma potenzialmente letale se non diagnosticata rapidamente e trattata con antitossine. Inoltre, il batterio può colonizzare e proliferare nel tratto intestinale di neonati privi di una microflora concorrente adeguata, noto come botulismo infantile.

Gli insetti essiccati in modo appropriato non favoriscono la crescita né la produzione di tossine di *C. botulinum*, ma possono costituire una fonte di spore se utilizzati come ingredienti. Fino a oggi, non sono stati riportati casi di rilevamento di *C. botulinum* negli insetti commestibili, sebbene sia stato segnalato il ritrovamento di *Clostridium spp.* in *T. molitor* freschi, grilli freschi e trasformati e cavallette *R. differens* (Kooh et al., 2020).

Clostridium perfringens è un batterio sporigeno ampiamente diffuso in natura, isolato da fonti ambientali come acqua, suolo, acque reflue e polvere. *C. perfringens* produce e rilascia numerose tossine ed enzimi idrolitici, incluso l'enterotossina responsabile dell'intossicazione alimentare, che, a differenza delle altre tossine di questo batterio, viene sintetizzata solo durante la sporulazione.

La dose-risposta attuale non è nota, ma si presume che l'ingestione di $\geq 10^8$ cellule vegetative vitali di *C. perfringens* sia sufficiente per causare la malattia. Ciò implica che le cellule sono in grado di sopravvivere alle condizioni acide dello stomaco, formare successivamente spore nell'intestino crasso e produrre enterotossine. *C. perfringens* cresce rapidamente in un intervallo di temperatura compreso tra 30 e 50 °C, e il mantenimento di preparazioni culinarie in questo intervallo per diverse ore può favorire una proliferazione superiore a 10^5 .

Tuttavia, a livelli bassi (inferiori a 2 log UFC/g), sono state riscontrate spore di *C. perfringens* in insetti come grilli, cavallette, vermi della farina e polvere di grillo commercializzati integrali (bolliti ed essiccati), così come nei coleotteri tenebrionidi. Pertanto, è di fondamentale importanza prestare attenzione alle condizioni di produzione e conservazione degli insetti trasformati per ridurre la presenza di *C. perfringens*. Inoltre, la reidratazione o l'utilizzo di polveri di vermi della farina contaminate da *C. perfringens* in altre preparazioni alimentari (come ad esempio negli alimenti per bambini) rappresenta una pratica potenzialmente rischiosa (Kooh et al., 2020).

4.1.5 MICOTOSSINE

Le micotossine sono composti metabolici a basso peso molecolare prodotti da funghi, capaci di causare effetti avversi, soprattutto nell'uomo. Dovuto alla loro notevole resistenza termica alle tipiche temperature di preparazione degli alimenti, molte micotossine potrebbero rimanere attive durante la cottura. Le micotossine possono giocare un ruolo significativo nelle procedure di allevamento, influenzando sia l'aspetto economico che la sicurezza alimentare.

Lo studio di (van Broekhoven et al., 2014) ha indagato se le larve di insetti, *Alphitobius diaperinus*, *T. molitor* e *Zophobas atratus*, possono trattenere micotossine quando allevate su substrato contaminato.

Tre micotossine, zearalenone, ocratossina A e tossina T2, sono state aggiunte alle diete a una concentrazione elevata di 500 µg/kg, ma non sono stati osservati effetti dannosi significativi sulla

crescita e sulla sopravvivenza larvale. L'assorbimento delle tossine era basso e dipendeva dalla specie. Le concentrazioni nelle larve erano inferiori a quelle nel mangime contaminato. Le larve di *T. molitor* avevano le concentrazioni più elevate, ma diminuivano rapidamente al di sotto del limite di rilevamento a digiuno o consumando mangime non contaminato. Nelle larve di *T. molitor*, l'ocratossina A diminuiva più velocemente a digiuno rispetto all'alimentazione di controllo, suggerendo un'espulsione delle micotossine attraverso le feci e una rapida diminuzione dello ZEN.

Inoltre, alcuni autori (Bily et al., 2004) hanno esaminato la presenza del deossinivalenolo (DON) nelle larve di *T. molitor* alimentate con farina di frumento naturalmente contaminata e artificialmente addizionata. Non sono state riscontrate differenze significative nella crescita e nella sopravvivenza tra le diete contenenti DON e la dieta di controllo. DON non è stato rilevato nelle larve, indipendentemente dal metodo di analisi o dal periodo di digiuno. L'escrezione di DON attraverso le feci era più elevata nelle larve alimentate con farina addizionata artificialmente rispetto a quella naturalmente contaminata. La ragione della differenza significativa nei livelli di escrezione tra le due diete non è stata chiara, ma potrebbe essere influenzata dalla presenza di altri metaboliti fungini nella farina naturalmente contaminata. Uno studio successivo di Ochoa Sanabria et al. (2019) ha utilizzato larve di *T. molitor* cresciute su cereali naturalmente contaminati da DON. La sopravvivenza tendeva ad essere più alta nelle larve esposte a diete con concentrazioni più elevate di DON, in contrasto con altri studi. A differenza degli studi precedenti, DON era misurabile in tutte le larve, ma i livelli erano generalmente bassi e solo una piccola frazione del DON ingerito era rilevabile nei corpi larvali, suggerendo che le larve di *T. molitor* accumulano DON solo a bassi livelli.

4.2 RISCHI PARASSITARI

4.2.1 PARASSITI

Gli insetti, in quanto potenziali portatori di parassiti, costituiscono un ulteriore rischio associato al loro consumo. Questa minaccia è stata ampiamente documentata in una revisione che ha esaminato la presenza di trematodi intestinali di origine alimentare nel sud-est asiatico (Chai et al., 2009).

L'importanza significativa di questo studio è correlata all'area geografica esaminata, caratterizzata da una lunga e radicata tradizione di consumo di insetti. Sei delle 65 specie di trematodi intestinali analizzate nell'articolo sono state identificate in campioni di insetti. Tra queste, si evidenzia il *Phaneropsolus bonnei* (Lecithodendriid), che può fungere da ospite per il trematode *Prosthodendrium molenkampii* (Lecithodendriid). Un altro rappresentante di questo genere è il *Phaneropsolus spinicirrus*.

Allontanandoci verso ovest, si riscontrano casi clinici associati al *Gongylonema pulchrum*. *Gongylonema* è un genere di nematodi appartenente alla superfamiglia Spiruroidea, con circa 25 specie che infestano mammiferi selvatici e domestici, oltre a diverse specie di uccelli in tutto il mondo. Si sono verificati casi isolati di una particolare specie, il *G. pulchrum*, comunemente noto come "verme dell'esofago" a causa della sua posizione nel tratto digestivo superiore, segnalato nell'uomo in varie parti del mondo. Questo nematode ha come ospite intermedio gli insetti, in

particolare coleotteri e scarafaggi, rendendolo quindi un possibile agente zoonotico associato al consumo di insetti crudi (Belluco et al., 2013).

Inoltre, insetti come scarafaggi (*Periplaneta americana* e *Blatella germanica*) hanno dimostrato di ospitare protozoi patogeni quali *Entamoeba histolytica* e *Giardia lamblia*, mentre alcuni moscerini sono stati isolati con vari protozoi parassiti (*Sarcocystis*, *Giardia*, *Toxoplasma gondii*, *Isospora*, *Cryptosporidium*). Particolare attenzione dovrebbe essere rivolta al *Cryptosporidium parvum*, un agente letale per gli individui immunocompromessi, che potrebbe essere presente anche negli insetti commestibili, suggerendo la necessità di considerare tali rischi nel caso del consumo di insetti come alimento (Belluco et al., 2013).

4.3 RISCHI CHIMICI

4.3.1 PESTICIDI

La prima considerazione chimica riguardante gli insetti come componenti nutrizionali è che tutti i pesticidi utilizzati contro di essi sono potenzialmente pericolosi per i consumatori, soprattutto quando i prodotti sono ottenuti da raccolta selvatica piuttosto che da coltivazioni controllate. La raccolta selvatica degli insetti può esporli a una varietà di pesticidi che potrebbero essere dannosi per la salute umana quando consumati.

Questo sottolinea l'importanza di pratiche agricole controllate e sostenibili quando si coltivano insetti per uso alimentare. Le norme e le regolamentazioni devono essere seguite rigorosamente per garantire la sicurezza alimentare e la minimizzazione del rischio di contaminazione da pesticidi. La tracciabilità delle fonti e delle pratiche di coltivazione può svolgere un ruolo chiave nell'assicurare che gli insetti destinati al consumo umano siano privi o contenuti nei residui di pesticidi, contribuendo così a garantire la sicurezza alimentare (Belluco et al., 2013).

4.3.2 STEROIDI METABOLICI

È interessante notare che alcuni insetti, in particolare quelli della famiglia Dytiscidae (coleotteri acquatici), possono contenere steroidi metabolici come il testosterone e il diidrotestosterone. L'assunzione frequente di tali steroidi potrebbe comportare rischi per la salute umana. Questi composti, se ingeriti in quantità significative, possono essere associati a diversi effetti avversi, tra cui ritardo della crescita, ipofertilità, mascolinizzazione nelle femmine, edema, ittero e, in casi estremi, persino il rischio di cancro al fegato.

Inoltre, gli insetti, compresi alcuni coleotteri e lepidotteri, possono contenere sostanze cianogenetiche. Queste sostanze chimiche possono causare inibizione di enzimi cruciali come la succinato deidrogenasi e l'anidrasi carbonica. La loro azione inibitoria può estendersi anche a importanti vie metaboliche come la fosforilazione ossidativa, poiché mostrano un'elevata affinità per la ferrocitocromo ossidasi.

Questi rischi chimici sottolineano l'importanza di un'attenta valutazione della sicurezza alimentare quando si considera l'uso di insetti come fonte alimentare. Pratiche agricole controllate, monitoraggio accurato dei residui chimici e rispetto delle normative di sicurezza alimentare sono fondamentali per

mitigare tali rischi e garantire che gli insetti destinati al consumo umano siano sicuri e salutari (Belluco et al., 2013).

4.3.3 METALLI PESANTI

I metalli pesanti costituiscono una problematica significativa in quanto possono accumularsi nei corpi degli insetti. Uno studio ha evidenziato un elevato contenuto di piombo nelle chapulines (cavallette del genere *Sphenarium* essiccate) provenienti da Oaxaca, Messico, associandole a livelli elevati di piombo nel sangue sia nei bambini californiani che nelle donne in gravidanza (Handley et al., 2007). Tuttavia, le chapulines non rappresentavano l'unico contributo di piombo nella popolazione esaminata. La presenza di metalli nei cibi dipende naturalmente dalla contaminazione ambientale e dai processi di preparazione alimentare, con la disidratazione che contribuisce ad aumentare la concentrazione di sostanze tossiche, come evidenziato nel caso specifico delle cavallette di Oaxaca.

Il fenomeno del bioaccumulo e il potenziale contenuto di metalli pesanti sono stati esplorati lungo la catena alimentare che comprende suolo, pianta, insetto e pollo. I risultati indicano che le concentrazioni di cadmio (Cd) mostrano una diminuzione costante con l'aumentare del livello trofico. Tuttavia, per zinco (Zn) e rame (Cu), si osserva un lieve aumento dalle piante alle larve degli insetti. Un meccanismo cruciale per prevenire il bioaccumulo è rappresentato dall'eliminazione attraverso le feci.

La presenza di rischi chimici negli insetti è principalmente correlata alla contaminazione dell'ambiente in cui vivono e del cibo che consumano. Questi rischi possono essere gestiti attraverso pratiche agricole e di alimentazione selezionate (Belluco et al., 2013).

4.4 PERICOLI: RISCHI DI ALLERGIA

Le reazioni allergiche alimentari vengono definite come "reazioni avverse a un alimento o a un componente alimentare altrimenti innocuo che comporta una risposta anomala del sistema immunitario dell'organismo a specifiche proteine negli alimenti". Le reazioni avverse a seguito del consumo di insetti sono rare e la sintomatologia clinica dell'allergia alimentare agli insetti mostra una gamma diversificata di reazioni, da lievi reazioni localizzate a manifestazioni cliniche sistemiche più gravi come lo shock anafilattico. I sintomi segnalati includono manifestazioni cutanee (come orticaria, prurito, eruzione cutanea, vampate di calore, angioedema), disturbi gastrointestinali (quali dolore addominale, nausea, vomito, diarrea) e problemi respiratori (come asma, dispnea).

L'allergia derivante dall'assunzione di insetti può essere categorizzata in sensibilizzazione primaria agli insetti commestibili e in cross-reattività con altre specie allergeniche (de Gier & Verhoeckx, 2018).

L'allergenicità degli insetti commestibili è un aspetto cruciale nella valutazione del rischio dei nuovi alimenti, secondo le attuali linee guida. Uno studio recente (Ribeiro et al., 2021) ha incluso una serie di ricerche che hanno valutato diversi aspetti legati all'allergia agli insetti commestibili.

In particolare, sono stati esaminati 20 studi che valutano la reattività crociata o la co-sensibilizzazione tra insetti commestibili e sostanze come crostacei o acari della polvere domestica (HDM). Questo

tipo di ricerca aiuta a comprendere se esistono rischi di allergie incrociate tra gli insetti e altre fonti alimentari o ambientali.

Il focus è stato anche posto sui meccanismi molecolari coinvolti nella sensibilizzazione primaria nei confronti degli alimenti a base di insetti commestibili. Questo aspetto fornisce una visione più approfondita dei processi biologici che possono portare allo sviluppo di reazioni allergiche.

Inoltre, lo studio di Ribeiro et al., (2021) ha esaminato articoli che identificano e caratterizzano gli allergeni alimentari derivanti dagli insetti commestibili, tenendo conto degli effetti delle tecniche di lavorazione degli alimenti. Questo è importante perché le modalità di preparazione possono influenzare la presenza e la concentrazione degli allergeni.

L'inclusione di casi clinici che descrivono le reazioni allergiche a seguito dell'ingestione intenzionale di insetti fornisce un quadro pratico degli effetti reali in situazioni di consumo.

La revisione ha evidenziato la presenza di co-sensibilizzazione immunologica o reattività crociata in individui allergici ai crostacei (o a crostacei e acari della polvere domestica) nei confronti di specie di insetti commestibili, come vermi della farina, grilli, locuste e cavallette. Questo fenomeno indica che le persone sensibili a determinati allergeni presenti nei crostacei possono sviluppare anche una risposta immunitaria nei confronti di allergeni simili presenti negli insetti commestibili.

Gli allergeni principali associati a questa reattività crociata sono stati identificati come i pan-allergeni degli artropodi, in particolare la tropomiosina e l'arginina chinasi (AK). La tropomiosina è una proteina strutturale coinvolta nei processi muscolari, mentre l'AK, enzima presente in insetti e crostacei. Inoltre, la revisione ha rilevato che anche allergeni minori degli artropodi, come la gliceraldeide 3-fosfato deidrogenasi, la catena leggera della miosina, la fruttosio-bifosfato aldolasi, l'actina, l' α -tubulina, la β -tubulina o l'esamerina, sono stati riconosciuti come proteine leganti le IgE. Questo significa che una varietà di proteine presenti negli insetti può scatenare risposte allergiche in soggetti sensibili. In sintesi, la reattività crociata e la co-sensibilizzazione tra allergeni presenti nei crostacei e quelli presenti negli insetti commestibili sono state dimostrate attraverso l'identificazione di diversi allergeni, inclusi i pan-allergeni, cioè sostanze che hanno il potenziale di causare una reazione allergica in un ampio spettro di individui, e gli allergeni minori degli artropodi.

Inoltre, un recente studio alimentare ha confermato la rilevanza clinica della reattività crociata tra crostacei e *T. molitor* (Ribeiro et al., 2021). La tropomiosina, un pan-allergene degli artropodi, è stata identificata come allergene con reazione crociata in *T. molitor*, *A. domesticus* e altre specie di insetti, suggerendo la presenza di co-sensibilizzazione o reattività crociata tra questi allergeni.

Tuttavia, sono emerse alcune informazioni contrastanti riguardo all'allergenicità della tropomiosina di *T. molitor*. Ad esempio, uno studio (Klueber et al., 2020) ha segnalato che questa proteina potrebbe innescare una risposta immunologica simile, misurata mediante il rilascio di β -esosaminidasi da cellule di leucemia basofila di ratto che esprimono il recettore IgE umano ad alta affinità, alla tropomiosina presente nei gamberetti.

In contrasto, un secondo studio (Palmer et al., 2020) ha riportato che in tre specie di vermi della farina (*T. molitor*, *G. mellonella* e *Z. morio*), la tropomiosina manifestava una reattività delle IgE inferiore rispetto a quella osservata per la tropomiosina di *A. domesticus* o *H. illucens*.

Ulteriori indagini sarebbero necessarie per determinare se i meccanismi molecolari della reattività crociata nei vermi della farina differiscano da quelli riscontrati in altre specie di insetti.

La co-sensibilizzazione tra insetti commestibili e crostacei non subisce una significativa riduzione a seguito di trattamenti termici, nonostante si sia osservato che tali trattamenti possono influenzare l'intensità e i tipi di allergeni rilevati. Inoltre, è emerso che la digestione in vitro non elimina la capacità della tropomiosina dei vermi della farina di legarsi alle IgE. Si suggerisce che le tecnologie di trasformazione alimentare possano modulare l'allergenicità degli insetti commestibili e che gli effetti dell'idrolisi enzimatica assistita da microonde e del trattamento termico possano influenzare l'allergenicità di tali insetti. Ad esempio, uno studio condotto sul grillo *G. sigillatus* ha rilevato che soltanto un grado di idrolisi superiore al 50%, ottenuto con alcalase®, poteva eliminare la capacità della tropomiosina di legare le IgE nei sieri allergici ai gamberetti (Hall et al., 2018).

5. NORME SUL CONSUMO DI INSETTI

La normativa europea sulla commercializzazione degli insetti a fini alimentari è chiara e vincolante. Gli insetti sono considerati Novel Food, come definito nel Regolamento 258/1997, che include tutti gli alimenti non consumati in modo significativo nell'Unione europea prima del 15 maggio 1997, data di entrata in vigore del regolamento. Questi alimenti devono rientrare in una delle categorie definite dalla stessa normativa (Belluco et al., 2015).

I vincoli legislativi costituiscono la principale barriera all'integrazione degli insetti nella catena alimentare europea. Questi vincoli derivano dal fatto che, al momento dell'elaborazione della legislazione attuale dell'Unione Europea, gli insetti non erano considerati una fonte alimentare. Di conseguenza, l'argomento non era preso in considerazione dai decisori dell'UE. Inoltre, la legislazione generale dell'UE sui prodotti alimentari segue il principio di precauzione stabilito nell'articolo 7, paragrafo 1, del Regolamento (CE) n. 178/2002 relativo ai principi generali della legislazione alimentare. Questo articolo afferma che, se vengono identificati potenziali rischi legati al consumo di nuovi alimenti, ma persiste l'incertezza scientifica, possono essere adottate misure provvisorie di gestione dei rischi necessarie per garantire un elevato livello di protezione della salute nella Comunità, in attesa di ulteriori informazioni scientifiche per una valutazione del rischio più completa. Il consumo di insetti (entomofagia) può comportare rischi come allergie, pericoli biologici o chimici. L'assenza di disposizioni specifiche per la produzione e la commercializzazione di insetti commestibili nella legislazione dell'UE crea una situazione complessa. La mancanza di armonizzazione ha portato a comportamenti divergenti tra gli Stati membri (Belluco et al., 2017).

Attualmente, gli insetti non hanno una posizione definita come alimento nel Codex Alimentarius, un insieme di regole e di normative elaborate dalla Codex Alimentarius Commission, una Commissione istituita nel 1963 dalla FAO e dall'Organizzazione mondiale della sanità. Gli insetti sono attualmente classificati come corpi estranei o impurità nel Codex Alimentarius. La normativa in merito agli insetti varia notevolmente tra i paesi, e molti paesi occidentali considerano gli insetti implicitamente. Tuttavia, questa mancanza di standardizzazione legislativa a livello globale ha rallentato e ostacolato la creazione di un mercato globale per gli alimenti a base di insetti.

Nell'Unione Europea, gli alimenti a base di insetti sono inclusi nella categoria dei nuovi alimenti, regolamentati dal Regolamento (UE) n. 2283/2015, con ulteriori dettagli forniti nei Regolamenti esistenti 1824/2020 e 2469/2017. Attualmente, la prospettiva legale sugli insetti e i loro prodotti è considerata una "zona grigia". Gli insetti sono considerati nuove fonti alimentari, e dal 1° gennaio 2018, devono essere approvati prima di essere commercializzati, con un processo che richiede almeno 17 mesi.

Nonostante il consumo tradizionale di insetti come cibo in alcune regioni del Sud America e del Sud-Est asiatico, non esiste ancora una regolamentazione specifica per la lavorazione degli insetti e dei loro prodotti in molti paesi (Gnana Moorthy Eswaran et al., 2023).

Dal punto di vista etico, la legislazione sulla protezione degli animali può essere divisa in due categorie: una orientata alla patocentricità, che considera solo gli animali senzienti, e l'altra biocentrica, che riguarda tutti gli animali. Attualmente, la legislazione europea in materia di benessere degli animali si basa sulle Cinque Libertà di Brambell, che delineano le condizioni di produzione

animale. Queste comprendono: 1) libertà dalla fame e dalla sete; 2) libertà dal disagio; 3) libertà dal dolore, dalle ferite e dalle malattie; 4) libertà di esprimere comportamenti normali; 5) libertà dalla paura e dall'angoscia. Secondo un parere scientifico dell'EFSA, "le norme generali sulla salute e il benessere degli animali (vertebrati) dovrebbero applicarsi anche agli insetti". Tuttavia, la legislazione europea attuale è lacunosa in quanto la Direttiva 98/58/CE del Consiglio sulla protezione degli animali negli allevamenti esclude specificamente gli animali invertebrati.

Se il benessere degli insetti dovesse essere preso in considerazione dalla legislazione, questa dovrebbe definire come applicare le Cinque Libertà di Brambell in relazione agli insetti. Ad esempio, la legge austriaca sulla protezione degli animali stabilisce che gli insetti, come qualsiasi altro animale, non devono essere allevati o manipolati in modo tale da infliggere dolore, angoscia o danni inutili. Il concetto di "danno" include tutte le forme di peggioramento delle condizioni degli animali causato dall'uomo, indipendentemente dalla percezione soggettiva dell'animale (Baiano, 2020).

I Paesi Bassi e il Belgio sono particolarmente distinti per l'elaborazione della loro legislazione riguardo agli insetti commestibili. Nei Paesi Bassi, il governo ha sostenuto una serie di progetti di ricerca mediante sovvenzioni e supporto ai ricercatori, concentrandosi sugli standard di salute e sicurezza dei prodotti a base di insetti. Inoltre, le organizzazioni dei produttori e altri gruppi di interesse hanno collaborato con il governo olandese per indagare e mitigare le barriere legislative (Belluco et al., 2017).

Nel 2015, l'Autorità europea per la sicurezza alimentare (EFSA) ha emesso il suo primo parere scientifico sui rischi associati alla produzione e al consumo di insetti d'allevamento come alimenti e mangimi. Questo parere ha affrontato questioni relative ai potenziali rischi allergenici e ambientali, oltre a pericoli chimici e biologici legati a fattori esterni come i metodi di produzione, i substrati alimentari e la fase del ciclo di vita in cui gli insetti vengono raccolti. L'EFSA ha concluso che, purché gli insetti siano alimentati con materie prime autorizzate, il potenziale rischio di tali pericoli dovrebbe essere simile a quello associato ad altre fonti proteiche non trasformate. Di conseguenza, gli insetti possono essere allevati in modo sicuro solo su substrati di origine vegetale o specifici materiali di origine animale consentiti, escludendo l'uso di substrati contenenti letame e altri materiali di scarto. Questo parere ha fornito le basi per il regolamento europeo successivo sugli insetti come *Novel Food*, ovvero il Regolamento (UE) 2015/2283. In base a tale regolamento, i prodotti alimentari a base di insetti possono essere commercializzati nell'Unione Europea solo se autorizzati dalla Commissione Europea (CE) (Mancini et al., 2022).

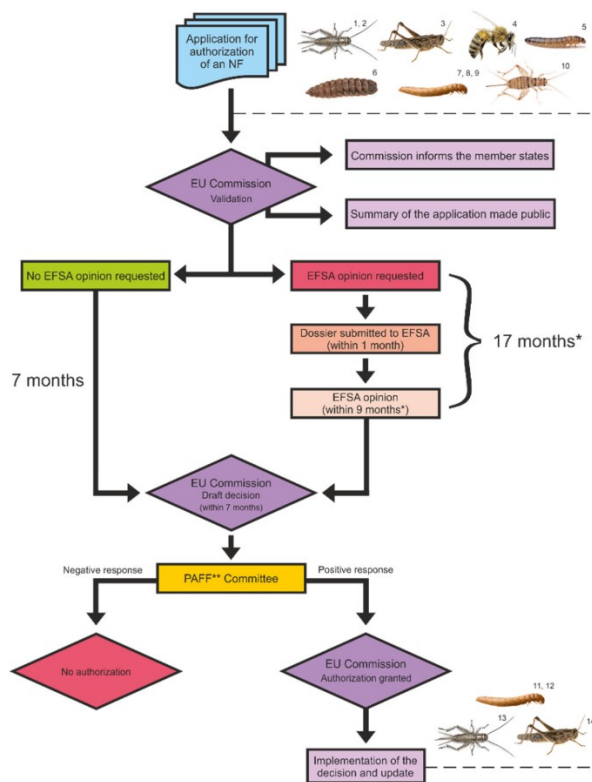


Figura 9: Processo di autorizzazione dei Novel Food (NF) (Mancini et al., 2022, p. 4)

Il processo per ottenere l'autorizzazione è relativamente semplice (Figura 9). Chiunque desideri introdurre un *Novel Food* (NF) sul mercato dell'UE deve presentare una domanda alla CE. Una volta che la domanda è stata verificata e convalidata, diventa disponibile per tutti gli Stati membri, e l'Autorità Europea per la Sicurezza Alimentare (EFSA) è tenuta a fornire una valutazione scientifica della sicurezza entro nove mesi dalla presentazione di una domanda valida. Sulla base di questo parere, l'autorizzazione viene concessa o negata.

Il regolamento specifica anche gli insetti che possono essere utilizzati come *Novel Food*, le raccomandazioni di etichettatura per i prodotti a base di insetti, e stabilisce le condizioni generali per l'inclusione dei Nuovi Alimenti nell'elenco dell'Unione. Questo elenco, aggiornato dalla CE, funge da riferimento per gli operatori economici che intendono introdurre sul mercato un *Novel Food* autorizzato.

Più recentemente, i regolamenti (UE) 2017/2469 e (UE) 2017/893 hanno stabilito regole riguardanti i requisiti amministrativi e scientifici per la presentazione di domande di autorizzazione alla commercializzazione di *Novel Food* nel mercato dell'UE. Questi regolamenti comprendono anche modifiche dei criteri generali per la produzione di insetti e proteine di insetti, con un focus particolare sulle opzioni di substrato limitate a quelle consentite per altre specie di bestiame.

Mentre queste normative restrittive in Europa sono finalizzate a garantire la sicurezza dei consumatori, possono allo stesso tempo ostacolare lo sviluppo di un'industria in grado di offrire benefici ambientali ed economici.

Il 29 dicembre 2023, sono stati ufficialmente pubblicati in Gazzetta Ufficiale i decreti che disciplinano la commercializzazione di quattro distinti ingredienti derivati da insetti, destinati alla produzione di prodotti alimentari in Italia. Le disposizioni dei decreti approvano i seguenti prodotti alimentari destinati al consumo umano:

1. Alimenti e preparati ottenuti da *A. domesticus* congelato, essiccato e ridotto in polvere.
2. Alimenti e preparati derivati dalla larva gialla della farina (larva di *T. molitor*) congelata, essiccata o ridotta in polvere.
3. Alimenti e preparati ottenuti mediante l'utilizzo della *Locusta migratoria*, congelata, essiccata e ridotta in polvere.
4. Alimenti e preparati derivati dalle larve di *Alphitobius diaperinus* (verme della farina minore) congelate, in pasta, essiccate e ridotte in polvere.

La legislazione ora consente in Italia la produzione e la commercializzazione di prodotti contenenti tali ingredienti, con l'obbligo di evidenziarne chiaramente la presenza in etichetta. Questa misura è considerata necessaria, soprattutto considerando che alcuni di questi insetti possono rappresentare potenziali allergeni, analogamente ai crostacei, rendendo così fondamentale la segnalazione dettagliata sulla confezione (*Gazzetta Ufficiale*, s.d.).

In alcuni paesi, la mancanza di standard formali per la produzione di insetti ha generato incertezza e preoccupazione tra i coltivatori, creando una base instabile per l'industria. Tuttavia, questa situazione apre anche la possibilità per l'industria di innovare nello sviluppo di standard. Di conseguenza, è cruciale ottenere nuove evidenze scientifiche per consentire una valutazione ottimizzata e migliorata, nonché l'identificazione di specifici punti critici di controllo lungo l'intera catena di produzione e trasformazione degli insetti (Mancini et al., 2022).

CONCLUSIONI

La sfida della sicurezza alimentare globale emerge come principale motivazione dietro l'interesse crescente nei confronti del consumo di insetti. Attualmente, centinaia di milioni di persone soffrono la fame in tutto il mondo, e si prevede che la popolazione mondiale raggiungerà i 9,3 miliardi nel 2050, portando oltre un miliardo di individui a vivere in condizioni di carestia, secondo stime del Dipartimento degli Affari Economici e Sociali, Divisione Popolazione.

La modifica delle abitudini alimentari non è solo auspicabile per la salute degli abitanti occidentali, ma rappresenta anche un approccio praticabile per incrementare la produzione alimentare in modo sostenibile, con notevoli benefici ambientali derivanti dalla riduzione delle emissioni di metano e protossido di azoto.

Le scelte alimentari non solo contribuiscono a migliorare la salute umana e l'utilizzo globale del suolo, ma giocano anche un ruolo significativo nelle politiche future di mitigazione dei cambiamenti climatici. Gli insetti, se gestiti e consumati correttamente, possono essere considerati una fonte sicura di cibo. Per garantire la massima sicurezza alimentare ed evitare contaminanti, è essenziale seguire le raccomandazioni dietetiche comuni, come la varietà nella dieta e il controllo delle porzioni.

La presente tesi si è focalizzata sull'analisi dei processi e delle tecnologie di produzione degli insetti edibili, esplorando sia metodologie tradizionali (come lo sgrassamento, il *blanching*, l'essiccazione e la liofilizzazione) che approcci innovativi (come la produzione di proteine coltivate). Due specie di insetti, *Acheta domesticus* e *Tenebrio molitor*, sono state esaminate in dettaglio, con particolare attenzione rivolta ai sistemi di allevamento, dieta e produzione, controllati per prevenire lo sviluppo di batteri patogeni, nonostante la limitatezza degli attuali studi disponibili.

La tesi approfondisce anche i valori nutrizionali degli insetti edibili, sottolineando la loro crescente popolarità come *Novel Food* in Italia, grazie alla loro ricchezza in proteine, grassi, minerali e vitamine. L'analisi complessiva suggerisce che il consumo di insetti potrebbe rappresentare una soluzione sostenibile per affrontare le sfide della sicurezza alimentare globale, contribuendo contemporaneamente alla salute umana e all'ambiente.

In conclusione, si esamina la normativa vigente in Italia e in Europa riguardante la produzione e la commercializzazione di prodotti alimentari contenenti insetti edibili. In Italia, il 29 dicembre 2023, è stato approvato e pubblicato in Gazzetta Ufficiale un decreto legge che autorizza la produzione e la commercializzazione di insetti edibili appartenenti alle specie *A. domesticus*, *T. molitor*, *Locusta migratoria* e *Alphitobius diaperinus*.

In conclusione, l'introduzione degli insetti nell'alimentazione rappresenta un'opportunità sostenibile e nutrizionalmente vantaggiosa, tuttavia, è cruciale garantire rigorosi controlli di sicurezza per assicurare la qualità e l'igiene di tali prodotti, promuovendo così una transizione verso pratiche alimentari innovative e responsabili.

BIBLIOGRAFIA

- Adamek, M., Mlček, J., Adámková, A., Suchánková, J., Janalíková, M., Borkovcová, M., & Bednářová, M. (2018). Effect of different storage conditions on the microbiological characteristics of insect. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*, 12(1), Articolo 1. <https://doi.org/10.5219/910>
- Ademolu K.O., Idowu A.B. and Olatunde G.O. (2010) Nutritional value assessment of variegated grasshopper, *Zonocerus variegatus* (L.) (Acridoidea: Pygomorphidae), during post-embryonic development : research article
- Baiano, A. (2020a). Edible insects: An overview on nutritional characteristics, safety, farming, production technologies, regulatory framework, and socio-economic and ethical implications. *Trends in Food Science & Technology*, 100, 35–50. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.03.040>
- Baiano, A. (2020b). Edible insects: An overview on nutritional characteristics, safety, farming, production technologies, regulatory framework, and socio-economic and ethical implications. *Trends in Food Science & Technology*, 100, 35–50. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.03.040>
- Belluco, S., Halloran, A., & Ricci, A. (2017). New protein sources and food legislation: The case of edible insects and EU law. *Food Security*, 9(4), 803–814. <https://doi.org/10.1007/s12571-017-0704-0>
- 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>
- Belluco, S., Mantovani, A., & Ricci, A. (2015). Il consumo di insetti dal punto di vista della sicurezza alimentare: inquadramento normativo e valutazione dei rischi. *Gli Insetti: Una Risorsa Sostenibile per L'alimentazione*.
- Bessa, L. W., Pieterse, E., Sigge, G., & Hoffman, L. C. (2020). Insects as human food; from farm to fork. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 100(14), 5017–5022. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8860>
- Bily, A. C., Reid, L. M., Savard, M. E., Reddy, R., Blackwell, B. A., Campbell, C. M., Krantis, A., Durst, T., Philogéne, B. J. R., Arnason, J. T., & Regnault-Roger, C. (2004). Analysis of *Fusarium Graminearum* Mycotoxins in Different Biological Matrices by LC/MS.

Mycopathologia, 157(1), 117–126.

<https://doi.org/10.1023/B:MYCO.0000012218.27359.ec>

- Borremans, A., Lenaerts, S., Crauwels, S., Lievens, B., & Van Campenhout, L. (2018). Marination and fermentation of yellow mealworm larvae (*Tenebrio molitor*). *Food Control*, 92, 47–52. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2018.04.036>
- Bourdoux, S., Li, D., Rajkovic, A., Devlieghere, F., & Uyttendaele, M. (2016). Performance of Drying Technologies to Ensure Microbial Safety of Dried Fruits and Vegetables. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 15(6), 1056–1066. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12224>
- Bußler, S., Rumpold, B. A., Jander, E., Rawel, H. M., & Schlüter, O. K. (2016). Recovery and techno-functionality of flours and proteins from two edible insect species: Meal worm (*Tenebrio molitor*) and black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae. *Heliyon*, 2(12), e00218. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2016.e00218>
- Caparros Megido, R., Poelaert, C., Ernens, M., Liotta, M., Blecker, C., Danthine, S., Tyteca, E., Haubruge, É., Alabi, T., Bindelle, J., & Francis, F. (2018a). Effect of household cooking techniques on the microbiological load and the nutritional quality of mealworms (*Tenebrio molitor* L. 1758). *Food Research International*, 106, 503–508. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.01.002>
- Caparros Megido, R., Poelaert, C., Ernens, M., Liotta, M., Blecker, C., Danthine, S., Tyteca, E., Haubruge, É., Alabi, T., Bindelle, J., & Francis, F. (2018b). Effect of household cooking techniques on the microbiological load and the nutritional quality of mealworms (*Tenebrio molitor* L. 1758). *Food Research International*, 106, 503–508. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.01.002>
- Chai, J.-Y., Shin, E.-H., Lee, S.-H., & Rim, H.-J. (2009). Foodborne Intestinal Flukes in Southeast Asia. *The Korean Journal of Parasitology*, 47(Suppl), S69–S102. <https://doi.org/10.3347/kjp.2009.47.S.S69>
- Collavo, A., Glew, R. H., Huang, Y.-S., Chuang, L. T., Bosse, R., & Paoletti, M. (2005). Housecricket smallscale farming in Ecological implications of minilivestock: Potential of insects, rodents, frogs and snails. *House Cricket Small-scale Farming. Ecological Implications of Minilivestock: Potential of Insects, Rodents, Frogs and Snails*.
- de Gier, S., & Verhoeckx, K. (2018). Insect (food) allergy and allergens. *Molecular Immunology*, 100, 82–106. <https://doi.org/10.1016/j.molimm.2018.03.015>

- De Loof, A., & Schoofs, L. (2019). Intraluminal Farnesol and Farnesal in the Mealworm's Alimentary Canal: An Unusual Storage Site Uncovering Hidden Eukaryote Ca²⁺-Homeostasis-Dependent "Golgicrine" Activities. *Frontiers in Endocrinology*, *10*, 885. <https://doi.org/10.3389/fendo.2019.00885>
- Durst, P. B., & FAO (A c. Di). (2010). *Forest insects as food: Humans bite back ; proceedings of a workshop on Asia-Pacific resources and their potential for development, 19-21 February 2008, Chiang Mai, Thailand*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Regional Office for Asia and the Pacific.
- Fernandez-Cassi, X., Söderqvist, K., Bakeeva, A., Vaga, M., Dicksved, J., Vagsholm, I., Jansson, A., & Boqvist, S. (2020). Microbial communities and food safety aspects of crickets (*Acheta domesticus*) reared under controlled conditions. *Journal of Insects as Food and Feed*, *6*(4), 429–440. <https://doi.org/10.3920/JIFF2019.0048>
- Fernandez-Cassi, X., Supeanu, A., Vaga, M., Jansson, A., Boqvist, S., & Vagsholm, I. (2019). The house cricket (*Acheta domesticus*) as a novel food: A risk profile. *Journal of Insects as Food and Feed*, *5*(2), 137–157. <https://doi.org/10.3920/JIFF2018.0021>
- Gahukar RT. (2011) Entomophagy and human food security. *International Journal of Tropical Insect Science*. 31(3):129-144. doi:10.1017/S1742758411000257
- Gazzetta Ufficiale*. (s.d.). Recuperato 9 gennaio 2024, da https://www.gazzettaufficiale.it/atto/serie_generale/caricaDettaglioAtto/originario?atto.dataPubblicazioneGazzetta=2023-12-29&atto.codiceRedazionale=23A07041&elenco30giorni=false
- Gnana Moorthy Eswaran, U., Karunanithi, S., Gupta, R. K., Rout, S., & Srivastav, P. P. (2023). Edible insects as emerging food products—processing and product development perspective. *Journal of Food Science and Technology*, *60*(8), 2105–2120. <https://doi.org/10.1007/s13197-022-05489-y>
- Gravel, A., & Doyen, A. (2020). The use of edible insect proteins in food: Challenges and issues related to their functional properties. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, *59*, 102272. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2019.102272>
- Hall, F., Johnson, P. E., & Liceaga, A. (2018). Effect of enzymatic hydrolysis on bioactive properties and allergenicity of cricket (*Gryllosid sigillatus*) protein. *Food Chemistry*, *262*, 39–47. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.04.058>
- Handley, M. A., Hall, C., Sanford, E., Diaz, E., Gonzalez-Mendez, E., Drace, K., Wilson, R., Villalobos, M., & Croughan, M. (2007). Globalization, Binational Communities, and

- Imported Food Risks: Results of an Outbreak Investigation of Lead Poisoning in Monterey County, California. *American Journal of Public Health*, 97(5), 900–906. <https://doi.org/10.2105/AJPH.2005.074138>
- Kemsawasd, V., Inthachat, W., Suttisansanee, U., & Temviriyankul, P. (2022). Road to The Red Carpet of Edible Crickets through Integration into the Human Food Chain with Biofunctions and Sustainability: A Review. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(3), 1801. <https://doi.org/10.3390/ijms23031801>
- Klueber, J., Costa, J., Randow, S., Codreanu-Morel, F., Verhoeckx, K., Bindslev-Jensen, C., Ollert, M., Hoffmann-Sommergruber, K., Morisset, M., Holzhauser, T., & Kuehn, A. (2020). Homologous tropomyosins from vertebrate and invertebrate: Recombinant calibrator proteins in functional biological assays for tropomyosin allergenicity assessment of novel animal foods. *Clinical & Experimental Allergy*, 50(1), 105–116. <https://doi.org/10.1111/cea.13503>
- Klunder, H. C., Wolkers-Rooijackers, J., Korpela, J. M., & Nout, M. J. R. (2012). Microbiological aspects of processing and storage of edible insects. *Food Control*, 26(2), 628–631. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2012.02.013>
- 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>
- Mancini, S., Sogari, G., Espinosa Diaz, S., Menozzi, D., Paci, G., & Moruzzo, R. (2022). Exploring the Future of Edible Insects in Europe. *Foods*, 11(3), Articolo 3. <https://doi.org/10.3390/foods11030455>
- Melgar-Lalanne, G., Hernández-Álvarez, A.-J., & Salinas-Castro, A. (2019a). Edible Insects Processing: Traditional and Innovative Technologies. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 18(4), 1166–1191. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12463>
- Melgar-Lalanne, G., Hernández-Álvarez, A.-J., & Salinas-Castro, A. (2019b). Edible Insects Processing: Traditional and Innovative Technologies. *Comprehensive Reviews in Food*

Science and Food Safety, 18(4), 1166–1191. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12463>

New protein sources and food legislation: The case of edible insects and EU law | SpringerLink.

(s.d.). Recuperato 5 dicembre 2023, da

<https://link.springer.com/article/10.1007/s12571-017-0704-0>

Ochoa Sanabria, C., Hogan, N., Madder, K., Gillott, C., Blakley, B., Reaney, M., Beattie, A., & Buchanan, F. (2019). Yellow Mealworm Larvae (*Tenebrio molitor*) Fed Mycotoxin-Contaminated Wheat—A Possible Safe, Sustainable Protein Source for Animal Feed? *Toxins*, 11(5), Articolo 5. <https://doi.org/10.3390/toxins11050282>

Olivadese, M., & Dindo, M. L. (2023). Edible Insects: A Historical and Cultural Perspective on Entomophagy with a Focus on Western Societies. *Insects*, 14(8), Articolo 8.

<https://doi.org/10.3390/insects14080690>

Ong, S. Y., Zainab-L, I., Pyary, S., & Sudesh, K. (2018). A novel biological recovery approach for PHA employing selective digestion of bacterial biomass in animals. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 102(5), 2117–2127. <https://doi.org/10.1007/s00253-018-8788-9>

Palmer, L. K., Marsh, J. T., Lu, M., Goodman, R. E., Zeece, M. G., & Johnson, P. E. (2020). Shellfish Tropomyosin IgE Cross-Reactivity Differs Among Edible Insect Species. *Molecular Nutrition & Food Research*, 64(8), 1900923. <https://doi.org/10.1002/mnfr.201900923>

Ribeiro, J. C., Sousa-Pinto, B., Fonseca, J., Fonseca, S. C., & Cunha, L. M. (2021). Edible insects and food safety: Allergy. *Journal of Insects as Food and Feed*, 7(5), 833–847.

<https://doi.org/10.3920/JIFF2020.0065>

Rivas-Navia, D. M., Dueñas-Rivadeneira, A. A., Dueñas-Rivadeneira, J. P., Aransiola, S. A., Maddela, N. R., & Prasad, R. (2023). Bioactive compounds of insects for food use: Potentialities and risks. *Journal of Agriculture and Food Research*, 14, 100807.

<https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100807>

Sorjonen, J. M., Valtonen, A., Hirvisalo, E., Karhapää, M., Lehtovaara, V. J., Lindgren, J., Marnila, P., Mooney, P., Mäki, M., Siljander-Rasi, H., Tapio, M., Tuiskula-Haavisto, M., & Roininen, H. (2019). The plant-based by-product diets for the mass-rearing of *Acheta domesticus* and *Gryllus bimaculatus*. *PLOS ONE*, 14(6), e0218830.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0218830>

- Tzompa-Sosa, D. A., Dewettinck, K., Provijn, P., Brouwers, J. F., de Meulenaer, B., & Oonincx, D. G. A. B. (2021). Lipidome of cricket species used as food. *Food Chemistry*, *349*, 129077. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129077>
- van Broekhoven, S., Doan, Q. H. T., van Huis, A., & van, J. J. A. (2014). *Exposure of tenebrionid beetle larvae to mycotoxin-contaminated diets and methods to reduce toxin levels*.
- Van Huis, A., Van Itterbeeck, J., Klunder, H., Mertens, E., Halloran, A., Muir, G., & Vantomme, P. (2017). Insetti commestibili: prospettive future relative alla disponibilità di alimenti e mangimi. *FAO Forestry Paper (FAO) eng no. 171*.
- Vandeweyer, D., Lenaerts, S., Callens, A., & Van Campenhout, L. (2017). Effect of blanching followed by refrigerated storage or industrial microwave drying on the microbial load of yellow mealworm larvae (*Tenebrio molitor*). *Food Control*, *71*, 311–314. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2016.07.011>
- Veldkamp, T., Duinkerken, G. van, Huis, A. van, Lakemond, C. M. M., Ottevanger, E., Bosch, G., & Boekel, T. van. (2012). *Insects as a sustainable feed ingredient in pig and poultry diets: A feasibility study = Insecten als duurzame diervoedergrondstof in varkens- en pluimveevoeders : een haalbaarheidsstudie* (638; p.). Wageningen UR Livestock Research. <https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/428703>
- Ververis, E., Boué, G., Poulsen, M., Pires, S. M., Niforou, A., Thomsen, S. T., Tesson, V., Federighi, M., & Naska, A. (2022a). A systematic review of the nutrient composition, microbiological and toxicological profile of *Acheta domesticus* (house cricket). *Journal of Food Composition and Analysis*, *114*, 104859. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2022.104859>
- Ververis, E., Boué, G., Poulsen, M., Pires, S. M., Niforou, A., Thomsen, S. T., Tesson, V., Federighi, M., & Naska, A. (2022b). A systematic review of the nutrient composition, microbiological and toxicological profile of *Acheta domesticus* (house cricket). *Journal of Food Composition and Analysis*, *114*, 104859. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2022.104859>
- Yan, X., Laurent, S., Hue, I., Cabon, S., Grua-Priol, J., Jury, V., Federighi, M., & Boué, G. (2023). Quality of *Tenebrio molitor* Powders: Effects of Four Processes on Microbiological Quality and Physicochemical Factors. *Foods*, *12*(3), Articolo 3. <https://doi.org/10.3390/foods12030572>