



DIPARTIMENTO DI SCIENZE AGRARIE ALIMENTARI E AMBIENTALI

CORSO DI LAUREA IN: SCIENZE E TECNOLOGIE ALIMENTARI

INSETTI COMMESTIBILI: GLI ALIMENTI PER UN FUTURO SOSTENIBILE

TIPO TESI: Compilativa

Studente:
MANUELE BALDONI

Relatore:
PROF.SSA PAOLA RIOLO

ANNO ACCADEMICO 2019-2020

SOMMARIO

SOMMARIO	1
ELENCO DELLE TABELLE	3
ELENCO DELLE FIGURE	4
ACRONIMI E ABBREVIAZIONI	5
INTRODUZIONE	6
1. ENTOMOFAGIA	8
1.1 STORIA DELL'ENTOMOFAGIA.....	8
1.1.1 Entomofagia in Africa.....	9
1.1.2 Entomofagia in Asia	10
1.1.3 Entomofagia in America Latina.....	11
1.1.4 Entomofagia in Europa	12
1.1.5 Entomofagia in Oceania	14
2. LEGISLAZIONE	15
3. ENTOMOFAGIA COME FATTORE DI SOSTENIBILITÀ	19
3.1 SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE	19
3.2 SOSTENIBILITÀ ECONOMICA	22
4. PRINCIPALI INSETTI CONSUMATI	26
4.1 COLEOTTERI.....	27
4.1.1 <i>Rhynchophorus</i> spp.....	28
4.2 ORTOTTERI	28
4.2.1 <i>Gryllotalpa gryllotalpa</i>	29
4.3 IMENOTTERI	29
4.3.1 <i>Camponotus</i> spp.....	30
4.4 LEPIDOTTERI	31
4.4.1 <i>Bombyx mori</i>	32
4.5 DITTERI.....	32
4.5.1 <i>Hermetia illucens</i>	33
5. ASPETTI NUTRIZIONALI	34
5.1 VALORE ENERGETICO DEGLI INSETTI EDIBILI	34
5.2 CONTENUTO IN PROTEINE.....	35

5.3 CONTENUTO IN LIPIDI	37
5.4 CONTENUTO IN MINERALI	38
5.5 CONTENUTO IN VITAMINE	39
5.6 CONTENUTO IN FIBRA.....	40
6. VALORI NUTRIZIONI NELLE LARVE <i>TENEBRIO MOLITOR</i>.....	42
7. RISCHIO MICROBIOLOGICO	44
7.1 RISCHIO MICROBIOLOGICO ASSOCIATO A BATTERI PATOGENI	45
7.2 RISCHIO MICROBIOLOGICO ASSOCIATO A FUNGHI	46
7.3 RISCHIO MICROBIOLOGICO ASSOCIATO A PARASSITI ANIMALI.....	46
7.4 RISCHIO MICROBIOLOGICO ASSOCIATO AI VIRUS	47
7.5 TRATTAMENTI PER DIMINUIRE IL RISCHIO MICROBIOLOGICO.....	47
8. RISCHI CHIMICI	49
8.1 RISCHI CHIMICI LEGATI AI METALLI PESANTI.....	49
8.2 RISCHI CHIMICI LEGATI AI PRODOTTI FITOSANITARI	51
8.3 RISCHI CHIMICI LEGATI ALLE MICOTOSSINE.....	51
CONCLUSIONI.....	52
BIBLIOGRAFIA.....	54
SITOGRAFIA	59

ELENCO DELLE TABELLE

Tabella 1: Raccolta di insetti commestibili durante i vari mesi dell'anno in Thailandia (Fonte: van Huis <i>et al.</i> , 2013).	11
Tabella 2: Specie di insetti per il consumo umano previste dalla FASFC (Fonte: FASFC, 2014).	18
Tabella 3: Valori di mercato per varie specie di insetti comunemente consumati in Thailandia rispetto ai valori di mercato per altri prodotti di origine animale e riso (Fonte: Dobermann <i>et al.</i> , 2017).	23
Tabella 4: Principali Ordini, nomi comuni e numero di specie di insetti utilizzati come alimento nel mondo (Fonte: Durst <i>et al.</i> , 2010).	26
Tabella 5: Valore energetico di varie specie di insetti (Fonte: van Huis <i>et al.</i> , 2013).	35
Tabella 6: Contenuto in proteine in 7 diverse specie di insetti commestibili (Fonte: van Huis <i>et al.</i> , 2013).	36
Tabella 7: Minerali contenuti in 4 specie di insetti considerati (Fonte: Finke, 2013).	38
Tabella 8: Contenuto di vitamine in <i>Hermetia illucens</i> , <i>Chilecomadia moorei</i> , <i>Shelfordella lateralis</i> e <i>Musca domestica</i> (Fonte: Finke, 2013).	40
Tabella 9: Composizione prossimale di larve <i>Tenebrio molitor</i> , pollo, manzo, maiale e pesce (%) (Fonte: Siemianowska <i>et al.</i> , 2017).	42
Tabella 10: Contenuto di minerali in larve di <i>Tenebrio molitor</i> , pollo, manzo, maiale (%) (Fonte: Siemianowska <i>et al.</i> , 2017).	43
Tabella 11: Composizione in acidi grassi in larve di <i>Tenebrio molitor</i> e maiali (Fonte: Siemianowska <i>et al.</i> , 2017).	
Tabella 12: Concentrazione di cadmio, piombo, mercurio, arsenico e nickel (mg kg ⁻¹ peso umido) nelle prepupe di <i>Hermetia illucens</i> (HI) e limiti legali per gli alimenti (Direttiva 1881/2006 / UE e modifica Regolamenti 420/2011 / UE e 1006/2015 / UE) (Fonte: Truzzi <i>et al.</i> , 2020).	50

ELENCO DELLE FIGURE

Figura 1: La foto ritrae una persona che sta per mangiare un adulto di Ortottero e la larva di un Lepidottero (Fonte: alamy.it).....	7
Figura 2: Ordini principali di insetti commestibili in Brasile (Fonte: van Huis <i>et al.</i> , 2013).	12
Figura 3: Barriere nell'uso alimentare degli insetti nei Paesi Europei (Fonte: Materia, 2015).	13
Figura 4: Panoramica del quadro normativo in materia di alimenti e mangimi nell'Unione Europea (Fonte: Schrögel, 2019).....	16
Figura 5: Efficienza di conversione nella produzione di grilli, pollame, maiali e bovini (Fonte: van Huis <i>et al.</i> , 2013).	21
Figura 6: Produzione di ammoniaca per kg di guadagno di massa per quattro specie di insetti (<i>Blaptica dubia</i> , <i>Tenebrio molitor</i> , <i>Acheta domesticus</i> , <i>Locusta migratoria</i>) e maiali (van Huis <i>et al.</i> , 2013).....	22
Figura 7: Prezzi del mercato locale di <i>Augosoma</i> spp., rispetto ad altri insetti commestibili nella regione orientale del Camerun (Fonte: Muafor <i>et al.</i> , 2014).	24
Figura 8: Numero registrato di specie di insetti commestibili nel mondo (Fonte: Bernard e Womeni, 2017).	27
Figura 9: Adulto di <i>Rhynchophorus ferrugineus</i> (Fonte: it.wikipedia.org).	28
Figura 10: Adulto di <i>Gryllotalpa gryllotalpa</i> (Fonte: en.wikipedia.org).....	29
Figura 11: Adulti e uova di <i>Camponotus</i> sp. (Fonte: lucianabartolini.net).....	31
Figura 12: Crisalidi di <i>Bombyx mori</i> (Fonte: jrunique.com).	32
Figura 13: Larve di <i>Hermetia illucens</i> (Fonte: notiziescientifiche.it).....	33
Figura 14: Variazione in contenuto di proteine nei vari stadi di sviluppo di <i>Zonocerus variegatus</i> in Nigeria (Fonte: van Huis <i>et al.</i> , 2013).....	36
Figura 15: Contenuto di grasso in 7 diverse specie di insetti (Fonte: Kouřimská e Adámková, 2016).	37
Figura 16: Principali tipi di consumo degli insetti edibili (Fonte: Vandeweyer <i>et al.</i> , 2017).	48

ACRONIMI E ABBREVIAZIONI

HACCP	Hazard Analysis Critical Control Points
EFSA	Autorità Europea per la Sicurezza Alimentare
FAO	Organizzazione delle Nazioni Unite per l'alimentazione e l'agricoltura
OMS	Organizzazione Mondiale della Sanità
g	grammo
t	tonnellata
UE	Unione Europea
CEE	Comunità Economica Europea
OSA	Operatore Socio-Assistenziale
Kg	Chilogrammi
USD	Dollaro Statunitense
GBP	Sterlina Britannica
Kcal	Kilocaloria
mg	milligrammo
µg	microgrammo
CFU	Unità Formanti Colonia

INTRODUZIONE

La Food and Agriculture Organization (FAO) ha stimato che al mondo, il numero di persone denutrite, supera il miliardo di individui e questo rappresenta una conseguenza della crisi economica mondiale che, riducendo l'occupazione, ha privato molti individui delle risorse necessarie per l'accesso al cibo.

L'entomofagia, ossia la pratica di consumare insetti commestibili (Figura 1), ha suscitato un grande interesse nell'occidente, grazie anche all'opinione favorevole dell'European Food Safety Authority (EFSA) e della FAO.

Gli insetti, pur essendo di piccole dimensioni, hanno al loro interno delle grandi potenzialità (proteine, minerali, lipidi). Il loro consumo ha lo scopo di promuovere nuove abitudini alimentari rispetto ai cibi tradizionali, riducendo l'inquinamento generato dalla produzione dei nostri alimenti quotidiani, primo fra tutti la carne.

La FAO afferma inoltre, che la produzione di carne contribuisce per il 14-22% alle emissioni annuali di gas serra, più delle emissioni industriali e quelle derivanti dai trasporti, considerate insieme.

La legislazione attualmente vigente non fornisce un grande contributo per quanto riguarda la regolarizzazione e l'introduzione nel mercato degli insetti commestibili, inoltre, non sono presenti riferimenti in merito agli aspetti igienico sanitari, alle modalità di conservazione e consumazione.

È necessario cercare di capire in che modo gli insetti possono essere effettivamente utili in termini di sostenibilità ambientale ed economica, così da riuscire ad apportare numerosi vantaggi sia ai paesi in via di sviluppo sia ai paesi già industrializzati.

Ad ogni modo, una dieta a base di insetti (o loro componenti) comporta senza dubbio per la società occidentale un distacco radicale dalle attuali tradizioni alimentari, sebbene sia stato dimostrato che consumare insetti (interi o in polvere) apporti benefici notevoli in termini di contenuto proteico e non solo.

L'obiettivo principale di questo lavoro è comprendere se realmente gli insetti possono essere ritenuti idonei in termini di sicurezza alimentare e sotto l'aspetto del valore nutrizionale.

L'elaborato inizia con il descrivere l'antica storia dell'entomofagia nel mondo fino ai nostri giorni (capitolo 1). Successivamente, si prende in considerazione la legislazione che regola il consumo e la produzione degli insetti commestibili (capitolo 2) e la sostenibilità ambientale ed economica (capitolo 3). Nei capitoli seguenti vengono analizzati le principali specie di insetti commestibili e gli aspetti nutrizionali, facendo il punto in particolare su una delle specie

più consumate, *Tenebrio molitor* L. (Coleoptera, Tenebrionidae). Infine, è stata effettuata una valutazione dei rischi microbiologici e chimici (capitoli 7 e 8), sulla base della letteratura scientifica esistente, che potrebbero presentarsi utilizzando gli insetti come alimento per il consumo umano. Gli ulteriori dati descritti nell'elaborato di tesi sono stati rilevati dagli studi effettuati e dalla letteratura scientifica a riguardo.

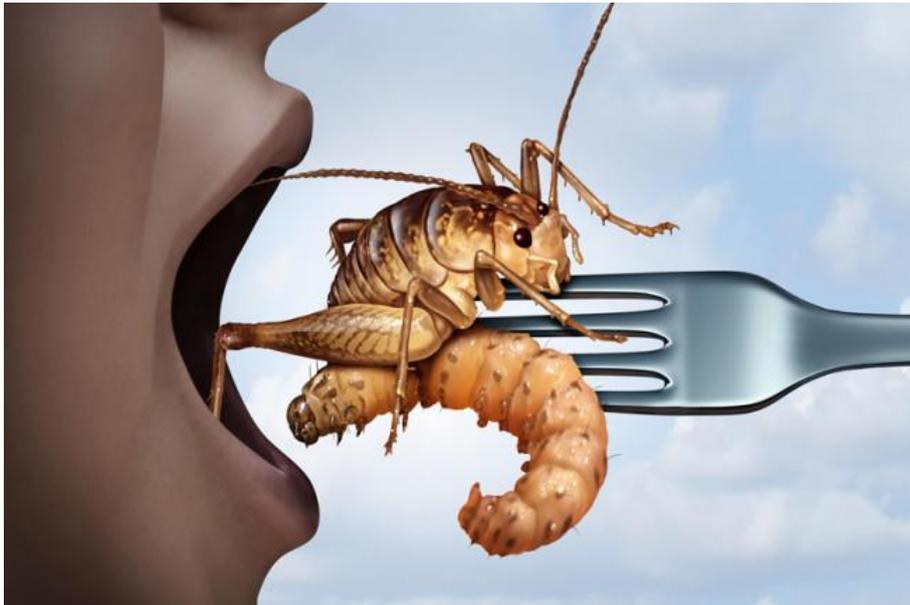


Figura 1: La foto ritrae una persona che sta per mangiare un adulto di Ortottero e la larva di un Lepidottero (Fonte: alamy.it).

1. ENTOMOFAGIA

L'entomofagia (dal greco *èntomos*, "insetto", e *phagein* "mangiare") consiste in un regime dietetico a base di insetti. La FAO ha stimato che il consumo degli insetti commestibili da parte dell'uomo è una pratica seguita da circa 2 miliardi di persone in tutto il mondo. Dalla preistoria, fino ai nostri giorni, gli insetti sono sempre stati una fonte tradizionale di nutrienti in molti paesi dell'Asia, America e dall'Africa e più di 2000 specie sono note per essere utilizzate per il consumo umano. Contrariamente, la maggior parte della popolazione dei Paesi occidentali rifiuta l'idea di adottare gli insetti come cibo, per motivi culturali e storici. Gli insetti vengono utilizzati come alimento in tutte le loro fasi di sviluppo (uova, larve, pupe e adulti). Le specie più consumate appartengono agli ordini dei Coleotteri, Lepidotteri, Imenotteri ed Ortotteri (Sogari, 2015).

I principali paesi nei quali gli insetti rappresentano il piatto principale sulla tavola e sono visti come cibo comune sono: Messico, varie nazioni del Centro e Sud Africa e del Sud Est Asiatico (val Huis *et al.*, 2013).

1.1 STORIA DELL'ENTOMOFAGIA

L'entomofagia ha una lunga storia ed è noto che gli insetti ed i loro prodotti sono stati utilizzati dall'uomo fin dall'antichità. Le pratiche alimentari nelle culture di varie popolazioni sono state influenzate principalmente dalle credenze religiose. L'usanza di mangiare insetti è citata nella letteratura religiosa del Cristianesimo, dell'Ebraismo e dell'Islamismo (val Huis *et al.*, 2013).

Le popolazioni dell'Asia del 4000 a. C. praticavano già l'allevamento del baco da seta e alcuni autori sostengono si possa supporre che la scoperta della seta e l'inizio della produzione di questa sia stata un evento conseguente l'allevamento del baco da seta a fini alimentari (Meyer Rochow, 2005).

Nell'antica Babilonia era abitudine l'utilizzo culinario delle cavallette. Il cosiddetto "*dream book*" assiro parla di una zuppa di cavalletta e che proprio queste ultime erano considerate un elemento indispensabile per la preparazione di un piatto chiamato "*siqqu*" (Lanfranchi, 2005).

Anche per quanto riguarda le antiche popolazioni greche e romane il consumo degli insetti commestibili era ben noto, infatti, cicale e locuste erano raccolte e consumate nei primi stadi di sviluppo (Longo, 2006).

Nel Medioevo, il consumo degli insetti in Cina era una pratica comune. Durante la dinastia Tang (618-907 d.C.) i capi tribù del Guangxi offrivano ai loro ospiti una marmellata di

formiche. Il periodo della dinastia Han (907-960 d.C.) vede l'aggiunta del consumo di mosche e larve di Coleotteri. Libellule e bachi da seta furono aggiunti negli anni degli Yuan (1271-1368) e dei Ming (1368-1662) (Zhi-Yi, 2005).

Alla corte dell'imperatore Azteco Montezuma (che regnò dal 1502 al 1520) e dei suoi predecessori, l'"*ahuahutle*" (caviale messicano composto da uova di Emitteri) era preparato e alla cerimonia dedicata alla divinità Xiuhtecutli e comprato a Tenochtitlan dai corrieri nativi di Texcoco affinché l'imperatore ne potesse avere a disposizione fresco per colazione (De Foliart, 1999).

In Africa nel XVII secolo, gli insetti erano una fonte fondamentale di nutrimento vista l'assenza di altri prodotti di origine animale. La carne era reperita e utilizzata in modo occasionale, in relazione alla caccia. Inoltre, gli insetti non si presentano solo come alimento necessario, ma persino prelibato. Due proverbi dello Zaire tramandati di generazione in generazione giustificano tale pratica: "Il bruco e la carne svolgono lo stesso ruolo nel corpo dell'uomo" e "nell'alimentazione, i bruchi sono gli ospiti consueti del villaggio, la carne di selvaggina è una straniera". E non solo bruchi ma anche lumache, cavallette, cicale, termiti, vermi da seta, scarabei, maggiolini, grilli e larve varie, solo per citarne alcuni. Questi prodotti avevano il vantaggio di poter essere consumati subito o qualche mese più tardi, crudi, arrostiti, essiccati, lessi e fritti (Logette, 2006).

1.1.1 *Entomofagia in Africa*

Mangiare insetti è una pratica molto comune tra le popolazioni rurali e urbane dell'Africa, infatti gli insetti commestibili o i loro prodotti derivati sono venduti nella maggior parte dei mercati alimentari africani. Nella Repubblica Democratica del Congo si mangiava approssimativamente 300 grammi (g) di bruchi a settimana e 96 tonnellate (t) venivano consumate ogni anno come una delle principali fonti proteiche ed altri elementi nutritivi. In Kenya, specie di insetti come mosche di lago, termiti "agoro", formiche nere, grilli e cavallette fanno parte dei pasti tradizionali che vengono consumati nella parte occidentale del paese (Niassy *et al.*, 2020).

In Costa d'Avorio è stata condotta un'indagine da agosto 2014 ad agosto 2015 sull'entomofagia di questo paese. I risultati hanno evidenziato che il 59,73% della popolazione consuma insetti contro il 40,27% che non li consuma (Ehounou *et al.*, 2018).

In Camerun, le donne sono coinvolte nella raccolta delle larve di Coleotteri. In Madagascar alla fine della stagione secca la gente del luogo raccoglie le larve che vengono essiccate e conservate per essere utilizzate in periodi di carenza di cibo. In Nigeria è stata condotta un'indagine sull'entomofagia in individui di fascia d'età compresa tra i 16 e 36 anni ed è stato

riscontrato che oltre il 60% consuma insetti, di cui il 62% è di sesso maschile, mentre il restante è di sesso femminile (van Huis *et al.*, 2013).

1.1.2 *Entomofugia in Asia*

In Asia il consumo di insetti coinvolge tutta la popolazione, in particolare nei villaggi e nelle tribù. Si stima infatti che ben 81 specie di insetti siano consumate sia nelle zone rurali che nelle aree urbane (van Huis *et al.*, 2013).

In Cina l'uso di insetti commestibili ha una storia che risale fino a 2000 anni fa. Gli antichi cinesi, infatti, allevavano bachi da seta e consumavano le loro crisalidi. Nonostante i cambiamenti globali nelle abitudini alimentari della popolazione, la cultura del consumo di insetti rimane ancora molto praticata in Cina. Gli insetti commestibili, infatti, erano e continuano ad essere consumati in molte aree della Cina da diversi gruppi etnici (Feng *et al.*, 2018).

Un totale di circa 255 specie di insetti commestibili è stato registrato in diverse zone dell'India. Questi insetti vengono consumati nelle varie fasi del loro ciclo vitale, ad esempio i bachi da seta sia allo stato larvale che di crisalide. In Giappone vengono consumate comunemente le larve di *Batocera lineolata* Chevrolat, una specie di Coleottero appartenente alla famiglia Cerambycidae (Durst *et al.*, 2010).

Il Giappone, inoltre, è uno dei principali consumatori di cavallette che sono bollite prima di essere puliti e salati. Nelle Filippine, le larve di *Cotinis nitida* (L.) (Coleoptera: Scarabaeidae) sono considerate un piatto molto prelibato e vengono solitamente fritte o arrostiti, per essere mangiate insieme ad altri ingredienti, oppure possono essere essiccate e conservate. In Corea tradizionalmente vengono consumate le cavallette come contorno o come piatto principale. In questi ultimi anni l'utilizzo di esse è diminuito a causa dell'aumento degli insetticidi (Gahukar, 2011).

In alcune zone della Thailandia e del Vietnam diverse specie di insetti vengono raccolti durante i vari mesi dell'anno (Tabella 1) per averne sempre a disposizione una notevole quantità da consumare (van Huis *et al.*, 2013).

**Tabella 1: Raccolta di insetti commestibili durante i vari mesi dell'anno in Thailandia
(Fonte: van Huis et al., 2013).**

Mese	Insetti
Gennaio	Ortotteri Acrididi, Coleotteri Crisomelidi Cassidini e Lepidotteri Esperidi
Febbraio	Adulti di formiche rosse, Coleotteri Scarabeidi ed Emitteri Pentatomidi
Marzo	Emitteri Cicadide, Isotteri e Coleotteri Scarabeidi
Aprile	Coleotteri Scarabeidi e Ortotteri Acrididi
Maggio	Ortotteri Grillidi
Giugno	Emitteri Belostomatidi, Coleotteri Buprestidi e Coleotteri Ditiscidi
Luglio	Emitteri Notonettidi, Coleotteri Aliplidi e Odonati Zigotteri
Agosto	Imenotteri Vespoidei e Coleotteri Scarabeidi
Settembre	Coleotteri Scarabeidi
Ottobre	Ortotteri Grillidi
Novembre	Coleotteri Cerambicidi
Dicembre	Ortotteri Grillotalpidi, Emitteri Notonettidi, Coleotteri Ditiscidi, Coleotteri Idrofillidi ed Eterotteri Nepidi

1.1.3 Entomofagia in America Latina

L'entomofagia in America Latina in passato era un fenomeno largamente diffuso. Il popolo Azteco, ad esempio, si nutriva di 91 specie di insetti, che venivano cucinate in diversi modi. Con l'arrivo degli spagnoli gran parte di queste usanze alimentari sparirono in quanto erano considerate negative e spregevoli. Nonostante l'antica tradizione che lega questi popoli al consumo di insetti, attualmente, solo le popolazioni indigene ed alcuni paesi del Brasile, del Messico e della Colombia praticano ancora l'entomofagia (Macedo *et al.*, 2017).

Nell'America Latina, gli indigeni hanno una profonda conoscenza degli insetti e del loro ciclo vitale. La raccolta degli insetti viene effettuata in base ai fenomeni naturali come ad esempio i cicli lunari, le stagioni piovose e i cicli vitali delle piante. Le popolazioni indigene, ad esempio, raccolgono le larve delle formiche quando la pianta *Senecio salignus* appartenente alla famiglia delle Asteracee, è in fiore. A Oaxaca, in Messico, la raccolta delle Chapulines

(cavallette selvatiche del genere *Sphenarium*) avviene con l'inizio della stagione piovosa. Allo stesso modo, anche nell'Amazzonia Colombiana, la comunità Nukak raccoglie le larve di specie del genere *Rhynchophorus* (Coleottero, Curculionide) durante la stagione delle piogge (van Huis *et al.*, 2013).

In Venezuela, *Rhynchophorus palmarum* L. è consumato in grande quantità e catturato in seguito all'abbattimento dell'albero in cui vive (Cerda, 2005).

Un'inchiesta effettuata per valutare la predisposizione all'entomofagia delle persone della città metropolitana di Recife e Zona da Mata de Pernambuco, ha evidenziato che la maggior parte degli intervistati consuma saltuariamente formiche, anche se non fanno parte delle proprie abitudini alimentari. I risultati mostrano che l'82,4% delle persone intervistate hanno manifestato volontà di includere l'entomofagia nella propria dieta, in quanto la considerano una valida fonte alternativa di proteine (Macedo *et al.*, 2017).

Il Brasile è riconosciuto a livello mondiale per la sua grande biodiversità di insetti commestibili. La pratica dell'entomofagia è ancora pratica soprattutto dalle tribù ed alle popolazioni indigene. Il Paese ospita un totale di 135 specie di insetti commestibili appartenenti a 9 Ordini, come riportato nella Figura 2 (van Huis *et al.*, 2013).

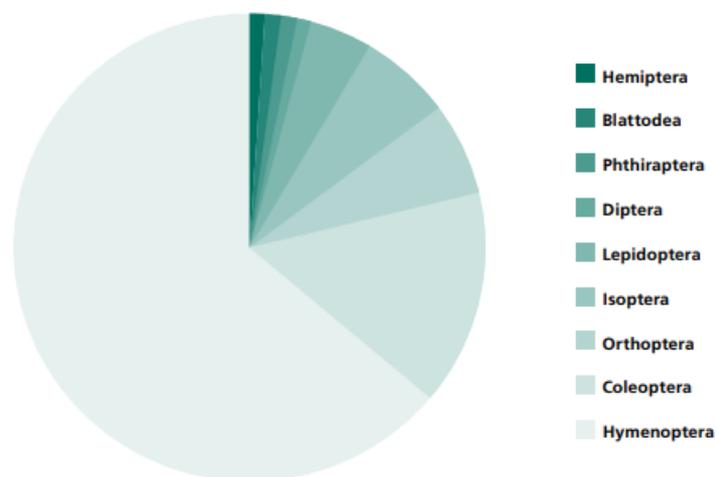


Figura 2: Ordini principali di insetti commestibili in Brasile (Fonte: van Huis *et al.*, 2013).

1.1.4 Entomofagia in Europa

Le prime informazioni sul consumo di insetti in Europa risalgono a centinaia di anni fa e nonostante il lasso di tempo trascorso, l'entomofagia in queste zone non è diffusa. Il basso

consumo di insetti da parte degli Europei, come riportato in Figura 3, è dovuto principalmente all'atteggiamento scettico verso questo tipo di alimento. Le culture europee percepiscono gli insetti come parassiti sporchi e pericolosi, vettori di malattie invece che come un apporto di nutrienti. Alcuni studi hanno evidenziato un impatto negativo legato alla sensazione di disgusto nell'utilizzo di insetti per l'alimentazione umana. Questa sensazione di disgusto appare legata ad un rifiuto indotto dalla cultura alimentare ed anche dal fatto che si pensa che gli insetti abbiano un gusto poco piacevole. Negli ultimi anni però, l'interesse per l'entomofagia è aumentato da parte dei paesi occidentali e dal 2014 nel Belgio e nei Paesi Bassi si è iniziato a produrre e vendere insetti commestibili nei supermercati (Orsi *et al.*, 2019).

Socio-culturali	Legislative, Istituzionali, Governative
Individuali	Nessuna legge norma l'uso alimentare di insetti
Risposta dal Sistema Nervoso Autonomo	Mancanza di campagne informative sui benefici
Esperienza individuale	Mancanza di filiere innovative
Neofobia	
Disgusto	
Avversione	
Pericolo	
Cultura	
Esposizione	
Potere di contaminazione	
Mancanza di informazioni su disponibilità e sicurezza	
Prodotto	
Visibilità della forma dell'insetto	

Figura 3: Barriere nell'uso alimentare degli insetti nei Paesi Europei (Fonte: Materia, 2015).

Anche in Italia il consumo di insetti è visto come un qualcosa di molto distante dalla nostra cultura gastronomica, tuttavia, fino ad alcuni decenni fa in Carnia, in Friuli Venezia Giulia, si succhiavano le ingluvie (parte del tubo digerente) di adulti di Lepidotteri appartenenti al genere *Zygaena*, perché è un serbatoio di sostanze zuccherine. Un sondaggio online rivolto a 3556 studenti universitari italiani di età compresa tra 18 e 29 anni, ha rilevato che il 38% degli intervistati era incline a ritenere che questo alimento potesse far parte della loro dieta (Toti, 2020).

1.1.5 *Entomofagia in Oceania*

L'entomofagia è comune in tutta l'Australia. Fattori come piogge ed aridità del terreno hanno favorito l'alimentazione a base di insetti. Tuttavia, negli ultimi 200 anni il consumo di insetti da parte degli aborigeni è diventato sempre meno frequente a causa della contaminazione provocata dalle diete europee (Durst, 2010).

Tra gli aborigeni venivano comunemente consumate individui di *Camponotus inflatus* Lubbock (Imenotteri, Formicidi) e di *Trigona* sp. (Imenotteri, Apide) apprezzate per la loro dolcezza (Yen, 2005).

Le tribù Maori della Nuova Zelanda consumano regolarmente larva, pupa e adulto di *Prionoplus reticularis* White (Coleottero, Cerambicide). Questo animale invade gli alberi caduti proliferando con rapidità al punto che gli uomini li abbattano appositamente per creare dei siti di riproduzione dove poi raccogliere le larve. In Papua Nuova Guinea, vengono consumati Coleotteri appartenenti al genere *Rhynchophorus*, che vengono raccolti nei tronchi della Palma di Sago (Meyer-Rochow, 2005).

2. LEGISLAZIONE

Il quadro legislativo riguardante gli insetti è piuttosto articolato. Le leggi in materia di prodotti alimentari regolamentano alimenti il cui uso è storicamente comprovato. Gli insetti, certamente fuori da questa categoria, per poter essere riconosciuti come fonte di alimenti devono essere approvati come “Novel food”. Perché rientri a pieno titolo in questa categoria, ogni prodotto deve rispettare determinate condizioni. In Italia, nessun alimento a base di insetti risulta al momento ufficialmente riconosciuto, mentre in Europa il primo paese ad inserire insetti nella lista dei possibili alimenti è stato il Belgio nel dicembre 2013, seguito subito dopo dall’Olanda (Materia, 2015).

Dal momento che le società occidentali sono ancora ampiamente avverse all’inserimento di insetti nelle diete, si rendono necessarie appropriate strategie che mirino a sfatare i miti collegati alla pratica di nutrirsi con insetti e mitigano il fattore disgusto. Dato che l’uso degli insetti per la nutrizione umana ed animale è ancora assente dalle agende politiche e di ricerca dei Governi, Ministero dell’Agricoltura ed enti affini, che ne auspicano l’inserimento in un prossimo futuro (van Huis *et al.*, 2013).

Una panoramica dei principali aspetti normativi riguardanti alimenti e mangimi nell’Unione Europea è fornito nella Figura 4. Gli insetti che vengono allevati ed utilizzati per la produzione di alimenti o qualsiasi altro prodotto ottenuto, come ad esempio i mangimi, sono considerati bestiame dall’Unione Europea ai sensi dell’articolo 3, paragrafo 6 del Regolamento CE 1069/2009. Di conseguenza, le normative in materia di alimentazione animale si applicano anche all’allevamento di insetti. Sebbene alcune specie di insetti siano in grado di convertire i rifiuti in biomassa preziosa, ai sensi del Regolamento CE 1069/2009 e del Regolamento CE 767/2009 è vietato nutrire gli animali con vari materiali di scarto, come i rifiuti domestici o il letame. In considerazione di un processo economico su scala industriale con un alto tasso di conversione e rese elevate di proteine di insetti, l’allevamento delle larve di insetti dovrebbe essere ottimizzato utilizzando un substrato di composizione costante e qualità specificata. Attualmente, nell’UE non è nemmeno consentito somministrare proteine animali trasformate ad animali d’allevamento con l’esonazione dell’olio di insetti e delle proteine idrolizzate ai sensi

Regolamenti	Aspetti chiave dei Regolamenti/Direttive europee
315/93/EEC	Gli alimenti contenenti un contaminante in quantità inaccettabile dal punto di vista della salute pubblica e in particolare a livello tossicologico non devono essere immessi sul mercato, i livelli di contaminanti devono essere mantenuti i più bassi possibili.
EC 178/2002	Gli alimenti non devono essere immessi sul mercato se non sono sicuri, ossia nocivi per la salute, non idonei al consumo umano.
EC 1881/2006	Livelli massimi di alcuni contaminanti (nitrati, micotossine, citrinina, metalli, esteri di acido grasso glicidilico, diossine, idrocarburi aromatici policiclici, melamina e suoi analoghi strutturali e pianta intrinseca tossine) negli alimenti.
EU 2015/2283	La regolamentazione dei nuovi alimenti, tra cui gli insetti interi e le loro parti, costituiscono nuovi alimenti.
EC 999/2001	Le norme per la prevenzione, il controllo e l'eradicazione di alcune encefalopatie spongiformi trasmissibili vietano le proteine animali trasformate come mangimi animali d'allevamento.
EU 2017/893	La modifica degli allegati I e IV alla CE 999/2001 consente le proteine animali trasformate derivate da insetti d'allevamento come materia prima per mangimi per animali d'acquacoltura.
2002/32/EC	Limiti massimi di sostanze indesiderabili (ad esempio metalli, micotossine, diossine) nell'alimentazione animale.
2006/576/EC	Valori guida per deossinivalenolo, zearalenone, ocratossina nei prodotti destinati all'alimentazione animale.
EC 1069/2009	Norme sanitarie relative ai sottoprodotti di origine animale e ai prodotti derivati non destinati consumo umano, definisce animali d'allevamento qualsiasi animale tenuto, ingrassato o allevati dall'uomo e utilizzati per la produzione di cibo, lana, pellicce, piume, pelli e pelli o qualsiasi altro prodotto ottenuto da animali o per altri scopi di allevamento.
EC 767/2009	Le condizioni per l'immissione sul mercato e l'uso dei mangimi, al fine di garantire un elevato livello di sicurezza dei mangimi e quindi un elevato livello di protezione della salute pubblica, vietano l'uso di vari materiali di scarto come mangime per animali.

Figura 4: Panoramica del quadro normativo in materia di alimenti e mangimi nell'Unione Europea (Fonte: Schrögel, 2019).

del Regolamento CE 999/2001 sulla prevenzione delle encefalopatie spongiformi trasmissibili. Nel maggio del 2017 è avvenuta la modifica del Regolamento UE 2017/893, ed

è stato consentito l'uso di proteine di insetti trasformate come mangime per animali d'acquacoltura. Nella produzione di mangimi, livelli massimi sono stati fissati dalla Commissione Europea per contaminanti come metalli pesanti (es. Cadmio), prodotti fitosanitari e micotossine (es. Aflatossina B1). I principi di base della legislazione dell'UE per i contaminanti negli alimenti sono descritti nel Regolamento 315/93 / CEE: alimenti contenenti un contaminante in una quantità inaccettabile per la salute pubblica non devono essere immessi sul mercato. Inoltre, i livelli di contaminanti devono essere mantenuti ad un livello ragionevolmente basso e per i contaminanti specifici devono essere fissati limiti massimi per proteggere la salute pubblica. Il Regolamento CE 1881/2006 stabilisce i livelli massimi di alcuni contaminanti come micotossine e metalli in alimenti specifici. Per quanto riguarda il consumo umano nell'UE, gli insetti d'allevamento e i loro prodotti sono inclusi nel nuovo Regolamento UE 2015/2283 (Schrögel, 2019).

In base a questo Regolamento, i prodotti alimentari o gli ingredienti alimentari sono definiti come “Novel food”, vale a dire prodotti che non erano stati utilizzati per il consumo umano nell'UE prima del 15 maggio 1997. Il Regolamento UE n. 2283 del 2015 dunque, abroga il Regolamento CE n. 258/1997 a partire dal 1° gennaio 2018 e definisce altre categorie di “Novel food”, tra cui gli insetti al punto numero 8, riportato di seguito:

“L'ambito di applicazione del presente Regolamento dovrebbe in linea di principio restare lo stesso del Regolamento CE n. 258/97. Tuttavia, dati gli sviluppi scientifici e tecnologici avvenuti dal 1997, è opportuno rivedere, chiarire e aggiornare le categorie di alimenti che costituiscono nuovi alimenti. Tali categorie dovrebbero includere gli insetti interi e le loro parti. Dovrebbero, inoltre, esistere categorie per gli alimenti con una struttura molecolare nuova o volutamente modificata, nonché per gli alimenti da colture di cellule o di tessuti ottenute da animali, vegetali, microorganismi, funghi o alghe, per gli alimenti ottenuti da microorganismi, funghi o alghe e per gli alimenti ottenuti da materiali di origine minerale. Dovrebbe inoltre essere prevista una categoria che comprenda gli alimenti di origine vegetale ottenuti con pratiche non tradizionali di riproduzione, qualora tali pratiche comportino cambiamenti significativi nella composizione o nella struttura dell'alimento tali da incidere sul suo valore nutritivo, sul metabolismo o sul tenore di sostanze indesiderabili. La definizione di nuovo alimento potrebbe altresì includere gli alimenti costituiti da micelle o liposomi”.

Ad oggi, dopo che l'EFSA ha divulgato il suo parere positivo in merito all'introduzione degli insetti commestibili nell'alimentazione europea, non esiste però ancora una normativa comunitaria e questo crea un grosso problema perché la legislazione attualmente in vigore non vieta l'utilizzo di insetti come cibo, ma nemmeno prevede una normativa specifica che possa

stabilirne le regole e i principi fondamentali di sicurezza e di nutrizione. Olanda, Belgio, Francia e Inghilterra, sono i Paesi più tolleranti, infatti, hanno già permesso l'utilizzo di alcuni insetti ad uso commestibile (Belluco *et al.*, 2015).

L'Autorità belga ha definito una lista di insetti (Tabella 2) che possono essere commercializzati in Belgio (fatta esclusione per gli ingredienti isolati dagli insetti come per esempio le proteine, le quali sono incluse nella legislazione dei "Novel food"). Secondo l'Autorità belga chiunque voglia commercializzare una specie di insetto che non rientra nella tabella sottostante deve presentare una richiesta alla FPS (Federal Public Service) Health, Food Chain Safety and Environment applicando le procedure per i "Novel food" al fine di ottenerne l'autorizzazione (FASFC, 2014).

Tabella 2: Specie di insetti per il consumo umano previste dalla FASFC (Fonte: FASFC, 2014).	
Ordine	Specie
Ortotteri	<i>Acheta domesticus</i>
Ortotteri	<i>Locusta migratoria migratorioides</i>
Coleotteri	<i>Zophobas atratus morio</i>
Coleotteri	<i>Tenebrio molitor</i>
Coleotteri	<i>Alphitobius diaperinus</i>
Lepidotteri	<i>Galleria mellonella</i>
Ortotteri	<i>Schistocerca americana gregaria</i>
Ortotteri	<i>Grylloides sigillatus</i>
Lepidotteri	<i>Achroia grisella</i>
Lepidotteri	<i>Bombyx mori</i>

3. ENTOMOFAGIA COME FATTORE DI SOSTENIBILITÀ

Gli insetti possono essere una nuova fonte di cibo non solo perché commestibili e buoni per chi ha il coraggio di assaggiarli, ma soprattutto perché questa nuova sorgente di alimentazione potrebbe apportare dei grossi vantaggi non solo nei Paesi in via di sviluppo, ma anche nei Paesi altamente industrializzati (van Huis *et al.*, 2013).

La popolazione mondiale è in costante crescita e con essa anche la domanda di cibo. Processi quali l'urbanizzazione e la globalizzazione influenzano sempre più marcatamente il cambiamento dietetico per una parte rilevante della popolazione. Ne risulta un costante aumento di fabbisogno di proteine ad alto valore biologico, la cui produzione rappresenta una sfida per il futuro, considerando che le attuali tecniche produttive (ad esempio, l'allevamento per le proteine animali) non solo hanno un notevole impatto ambientale, ma mostrano anche un basso livello di efficienza. Queste tecniche producono alti livelli di anidride carbonica, consumano considerevoli quantità di acqua ed implicano anche importanti problemi di smaltimento dei rifiuti.

Il Parlamento Europeo ha recentemente sottolineato come il deficit di fonti proteiche sia diventato uno dei problemi più sentiti in Europa: circa l'80% del fabbisogno europeo di sostanze proteiche viene infatti da Paesi extra-europei. In questo contesto, gli insetti possono rappresentare un'alternativa sostenibile per diverse ragioni. Il ricorso agli insetti per uso alimentare è stato promosso dall'Organizzazione delle Nazioni Unite per l'alimentazione e l'agricoltura (FAO) per i diversi benefici ambientali, per la salute, per il sostentamento derivanti dai relativi processi produttivi. Gli insetti forniscono anche un importante servizio ecosistemico giocando un ruolo importante nella bioconversione del materiale organico, trasformandolo in ammendante. In questo capitolo si vuole valutare quali siano realmente gli aspetti positivi che possiedono gli insetti, ma soprattutto i loro vantaggi in termini di sostenibilità ambientale ed economica (Materia, 2015).

3.1 SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE

La sostenibilità ambientale nella produzione di insetti ha un ruolo cruciale, dato che questa tipologia di alimentazione risulta essere una valida risorsa e un'opportunità per trovare altre soluzioni che possono avere un impatto ambientale più basso rispetto ai cibi tradizionali. Il problema principale è che aumentando la domanda deve aumentare anche la produzione di cibo che porterà ad un maggior sfruttamento del suolo, della deforestazione, degli oceani, dell'energia e di conseguenza ad un aumento delle sostanze inquinanti. Per questi motivi, è

necessario prendere in considerazione delle fonti di alimentazione alternative. La disponibilità di terra è una questione che si pone frequentemente nella discussione sull'agricoltura sostenibile. Con l'aumentare della domanda di carne, aumenta la pressione sui produttori affinché allevino più bestiame, il che richiede più terra. Allo stesso modo, l'aumento del bestiame richiede più mangime, il che a sua volta porta gli agricoltori ad aumentare la quantità di terra coltivata, spesso comportando la deforestazione o un aumento dell'uso di fertilizzanti (Dobermann *et al.*, 2017).

L'incremento della produzione di cibo aumenterà l'utilizzo delle risorse idriche portando così milioni di persone a vivere in una condizione di assoluta scarsità di acqua. In questo contesto gli insetti potrebbero essere una risorsa molto utile per cercare di ridurre il consumo di acqua. Gli insetti sono inoltre dotati di un'elevata efficienza di conversione nutrizionale, ovvero di quanto mangime devono assumere per produrre un incremento in peso di 1 chilogrammo (Kg). Questa loro caratteristica li rende ancora una volta potenzialmente più utili ed ecosostenibili rispetto al bestiame. Infatti, gli animali usati convenzionalmente per l'allevamento, hanno dei tassi di conversione nutrizionale molto più bassi, che variano anche in base alla specie di animali e alle modalità di allevamento utilizzate, rispetto agli insetti. Come si può osservare dalla Figura 5 per aumentare la propria massa di 1 kg, il pollo ha bisogno di 2,5 kg di mangime, il suino di 5 kg e il bovino di 10 kg. Gli insetti, al contrario, hanno bisogno di molto meno mangime e riescono a convertire 2 Kg di mangime in 1 Kg di massa corporea (van Huis *et al.*, 2013).

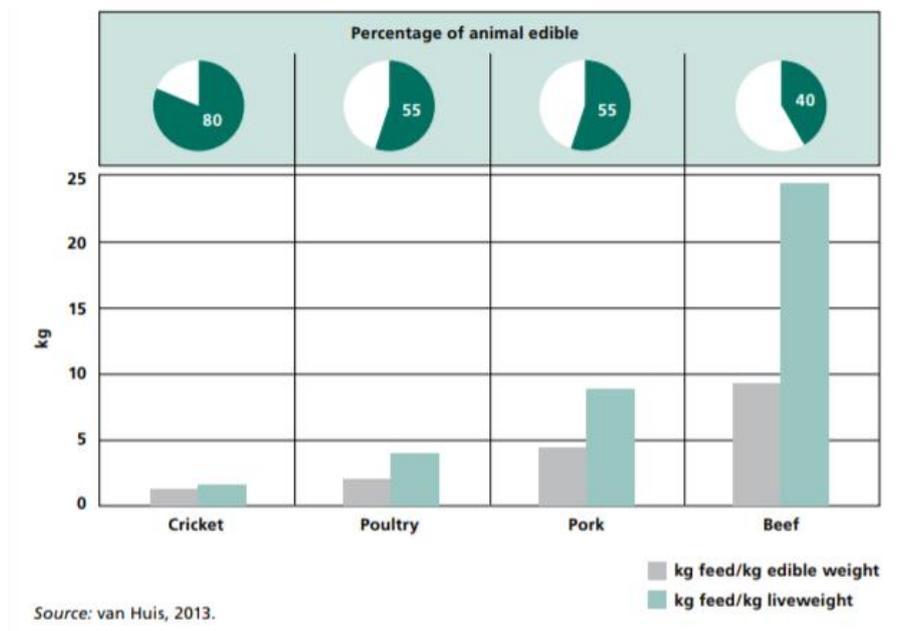


Figura 5: Efficienza di conversione nella produzione di grilli, pollame, maiali e bovini (Fonte: van Huis et al., 2013).

Attualmente, secondo la FAO, l'allevamento di bestiame utilizza circa il 70% delle terre destinate all'agricoltura e il 30% della superficie terrestre, con una produzione di 229 milioni di tonnellate. Comunque, con l'aumento della popolazione mondiale si presume che in questi ultimi anni e fino al 2050, la richiesta per i prodotti dell'allevamento arriverà ad essere più del doppio, circa 465 milioni di tonnellate. Anche per quanto riguarda la produzione di pesce le aspettative sono molto simili, infatti, ad oggi il settore dell'acquacoltura corrisponde a circa il 50% della produzione mondiale di pesce. Sulla base di queste prospettive è assolutamente necessario ricercare nuove fonti alimentari che possano diventare una valida alternativa. Gli insetti si riproducono velocemente e non hanno bisogno di grandi distese di terre al contrario del bestiame.

L'allevamento di bestiame è responsabile del 18% delle emissioni di gas serra, il quale, durante l'allevamento della maggioranza delle specie di insetti edibili è potenzialmente più basso di quello del bestiame convenzionale. Il metano e l'ammoniaca sono prodotti dagli allevamenti e corrispondono rispettivamente al 35-40% e al 65% delle emissioni globali. Al contrario negli insetti, solo Blatte e Coleotteri producono metano che in ogni caso risulta essere molto inferiore rispetto alle emissioni prodotte, per esempio, dai suini (Figura 6). Anche il letame e le urine sono delle fonti di inquinamento ambientale e ugualmente in questo caso, gli insetti sarebbero molto utili perché le loro feci sono inodori, hanno un'umidità molto inferiore e possono essere seccate per poi essere utilizzate come concimi (van Huis et al., 2013).

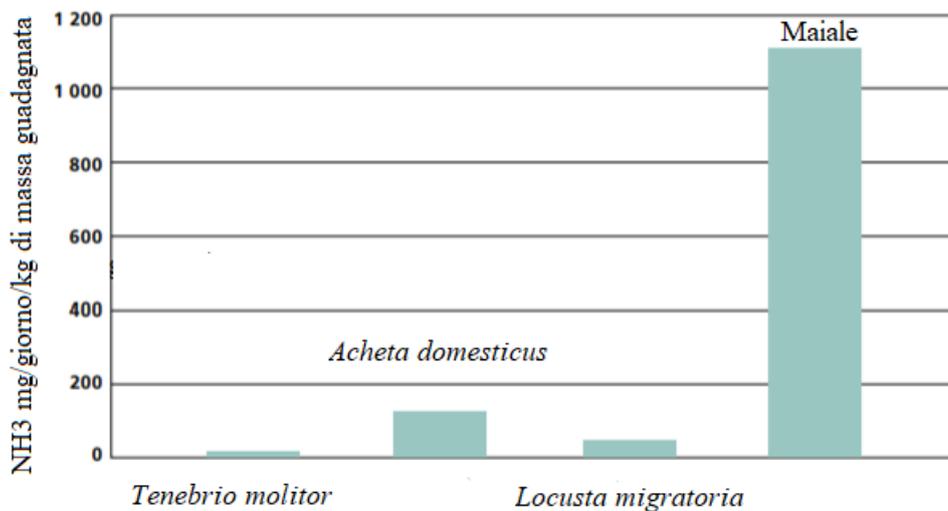


Figura 6: Produzione di ammoniaca per kg di guadagno di massa per quattro specie di insetti (*Blaptica dubia*, *Tenebrio molitor*, *Acheta domesticus*, *Locusta migratoria*) e maiali (van Huis et al., 2013).

3.2 SOSTENIBILITÀ ECONOMICA

La raccolta e l'allevamento di insetti può offrire un'opportunità dal punto di vista economico in Paesi in via di sviluppo. In molti casi, la raccolta e l'allevamento di insetti selvatici forniscono reddito e lavoro per le famiglie. Infatti, oltre ai benefici ambientali e nutrizionali, ci sono anche vantaggi economici.

Il quadro economico più chiaro del commercio di insetti commestibili proviene dal sud-est asiatico, dove ci sono aziende agricole e commerci consolidati. L'esportazione e l'importazione di insetti ha un ruolo economico chiave in tutto il sud-est asiatico, il mercato delle importazioni in Thailandia da solo è valutato 1,14 milioni di dollari americani (USD)/anno. La Tabella 3 mostra i valori di mercato per varie specie di insetti comunemente consumate in Thailandia rispetto ai valori di mercato per altri prodotti di origine animale (bufalo, manzo e maiale) (Dobermann et al., 2017).

Tabella 3: Valori di mercato per varie specie di insetti comunemente consumati in Thailandia rispetto ai valori di mercato per altri prodotti di origine animale e riso (Fonte: Dobermann et al., 2017).

Alimenti	Valore di mercato (USD/kg)
<i>Acheta domesticus</i>	3
<i>Gryllus bimaculatus</i>	5
<i>Bombyx mori</i>	4
<i>Gryllotalpa gryllotalpa</i>	3,67
<i>Rhynchophorus ferrugineus</i>	9,35
<i>Omphisa fuscidentalis</i>	10
<i>Oecophylla longinoda</i>	10,65
<i>Patanga succincta</i>	7,8
Riso	0,78
Pollo	1,08
Carne di bufalo	2,38
Manzo	3,03
Maiale	1,91

Nella Tabella 3, inoltre, si può notare che il valore di mercato per gli insetti spesso supera quello di altre fonti proteiche standard. Aziende agricole di medie dimensioni, che producono all'incirca 500–750 kg di grilli, possono ottenere un reddito netto di 4270–9970 USD in un paese dove il reddito nazionale lordo medio annuo pro-capite è di circa 5640 USD. Le stime collocano il valore degli insetti come alimento umano e mangime nel mercato dei seguenti Paesi: Stati Uniti, Belgio, Francia, Regno Unito, Paesi Bassi, Cina, Thailandia, Vietnam, Brasile e Messico a 25,1 milioni di sterline britanniche (GBP) per il 2015, con una crescita prevista a 398 milioni di sterline entro il 2023. Si prevede che la crescita sarà in gran parte guidata dall'aumento di consapevolezza dei consumatori e dall'accettazione degli insetti come cibo, nonché uso nei mangimi per l'alimentazione animale. In Corea del Sud, il mercato che include insetti commestibili, mangimi e medicine, valeva circa 109 milioni di sterline nel 2017 con previsioni future che si aggireranno a 348 milioni di GBP. Queste previsioni di crescita rappresentano una grande opportunità per le nuove imprese, soprattutto nei Paesi in via di sviluppo (Dobermann et al., 2017).

Il potenziale guadagno dell'allevamento e della trasformazione degli insetti può derivare dalla loro vendita nei mercati locali dei villaggi o come cibo da strada. Oltre ad essere venduti

direttamente ai consumatori nei mercati locali, gli insetti possono essere commerciati con intermediari e grossisti. In Gran Bretagna, 70 g di pupe di formiche tessitrici (*Oecophylla smaragdina* Fabricius) vengono vendute online a 7,50 euro. Nei Paesi Bassi, 50 g di larve di *T. molitor* conosciuto con il nome di, verme della farina, costano 4,85 euro. In Kenya, 1 kg di termiti viene venduto a 10 euro. A Oaxaca, in Messico, le “Chapulines” (Ortotteri) si vendono a circa 12 euro al kg. Nei mercati in Cambogia, una lattina (150-200 g) di grilli fritti viene venduta a circa 0,50 euro (van Huis *et al.*, 2013).

In Camerun, come riportato nella Figura 7, i Coleotteri del genere *Augosoma* (scarabeo rinoceronte) sono venduti a 0,038 euro crudi oppure, a 0,076 euro al pezzo cotti. Nella Figura, sono anche riportati i prezzi in FCFA (Franco delle Colonie Francesi d'Africa), la moneta tipica del luogo. In alcuni villaggi lungo l'autostrada Yaounde-Bertoua, ad esempio, larve del Coleottero *Augosoma* spp. sono vendute insieme alle larve di *Rhynchophorus ferrugineus* (punteruolo rosso della palma) sotto forma di spiedino (Muafor *et al.*, 2014).

Figura 7: Prezzi del mercato locale di <i>Augosoma</i> spp., rispetto ad altri insetti commestibili nella regione orientale del Camerun (Fonte: Muafor <i>et al.</i>, 2014).			
Specie (stadio di sviluppo)	Quantità	FCFA	Euro
<i>Rhynchophorus ferrugineus</i>	20	300-500	0,46-0,76
Lepidotteri	15-45	200-300	0,30-0,46
<i>Augosoma</i> spp. (adulto)	1	25	0,038
<i>Augosoma</i> spp. (larva)	6	100	0,15

Si stima che la bachicoltura possa generare undici giorni lavorativi di occupazione per kg di materia prima, ossia di produzione di seta. Nessun altro settore nelle zone rurali genera un livello così alto di occupazione. Negli ultimi anni le aziende hanno adottato strategie per portare gli insetti nei paesi sviluppati e in via di sviluppo. Il commercio di insetti come cibo verso i paesi occidentali è guidato principalmente dalla domanda proveniente da comunità africane e dall'Asia, o dallo sviluppo di mercati di nicchia europei. Le imprese basate sulla produzione di insetti, quindi, sono un emergente mercato che non può essere sottovalutato in quanto può diventare un importante opportunità imprenditoriale sia per le economie già sviluppate ma soprattutto per quelle in via di sviluppo. In conclusione, il commercio degli insetti potrebbe essere una valida risorsa per implementare e sostenere i mercati e le aziende dei paesi in via di sviluppo, ma affinché ciò risulti possibile dovrebbe essere creata una valida

legislazione che protegga sia il prodotto che i produttori, al fine di evitare che le grandi aziende prevalgono sui piccoli allevatori, per i quali gli insetti rappresentano l'unica fonte di sussistenza e di guadagno (van Huis *et al.*, 2013).

4. PRINCIPALI INSETTI CONSUMATI

Si stima che nel mondo quasi 1700 specie di insetti siano utilizzate come cibo per l'uomo. Le specie di insetti maggiormente consumate (circa l'80%) appartengono agli Ordini: Coleotteri, Imenotteri, Ortotteri e Lepidotteri (Tabella 4) (Durst *et al.*, 2008).

Tabella 4: Principali Ordini, nomi comuni e numero di specie di insetti utilizzati come alimento nel mondo (Fonte: Durst et al., 2010).		
Ordine	Nome comune	Numero di specie
Tisanura	Pesciolini d'argento	1
Anopluri	Pidocchi	3
Efemerotteri	Effimere	19
Odonati	Libellule	29
Ortotteri	Cavallette, Grilli,	267
Isotteri	Termiti	61
Emitteri	Pentatomidi, Coreidi, Scutelleridi e Miridi	102
Omotteri	Cicale, Cicaline e Pseudococcidi	78
Lepidotteri	Farfalle e falene (baco da seta)	253
Tricotteri	Tricotteri	10
Ditteri	Mosche e zanzare	34
Coleotteri	Coleotteri	468
Imenotteri	Api, Formiche e Vespe	351
Numero totale di specie		1676

In uno studio condotto sull'entomofagia nel mondo, è stato rilevato che l'Africa è una delle più importanti zone per la biodiversità degli insetti commestibili con 524 specie registrate da 34 diversi Paesi africani. Nella Figura 8 è riportato un elenco delle varie specie di insetti commestibili più consumati nel mondo (Bernard e Womeni, 2017).



Figura 8: Numero registrato di specie di insetti commestibili nel mondo (Fonte: Bernard e Womeni, 2017).

4.1 COLEOTTERI

All'Ordine dei Coleotteri appartengono la maggior parte delle specie di insetti commestibili. Infatti, in tutto il mondo, sono 468 le specie utilizzate per l'alimentazione umana che vengono soprattutto usate allo stadio larvale. Le camole della farina sono allevate e utilizzate per la produzione di snack o di altri prodotti a base di proteine di insetti, olio e chitina (Feng *et al.*, 2017).

Negli Stati Uniti, *T. molitor* e *Zophobas morio* Fabricius (Coleottero, Tenebrionide) sono attualmente prodotti come mangimi per animali e per l'alimentazione umana. Tali insetti sono tra i più diffusi nel consumo umano e vengono acquistati da varie aziende per essere utilizzati in prodotti da forno come torte e biscotti (Shockley *et al.*, 2014).

I più popolari Coleotteri commestibili nei tropici appartengono al genere *Rhynchophorus*, insetti dannosi alle coltivazioni di palme, distribuiti in Africa, Asia meridionale e Sud America. In Zimbabwe, Africa meridionale, vengono consumate le larve di *Eulepida mashona* Arrow (Coleottero, Scarabeide) (Manditsera *et al.*, 2019).

In Europa, oltre alle larve di *T. molitor*, vengono allevate anche quelle di altre due specie di Tenebrionidi: *Alphitobius diaperinus* (Panzer) e *Z. morio*. Queste tre specie vengono allevate, oltre che per il consumo umano, anche come mangime per rettili, pesci e uccelli (van Huis *et al.*, 2013).

4.1.1 *Rhynchophorus* spp.

Le larve delle varie specie di specie di Coleotteri Curculionidi (Figura 9) sono comunemente consumate in Asia (*R. ferrugineus*), Africa (*R. phoenicis*) e America Latina (*R. palmarum*). Il loro sapore è da attribuire all'elevato contenuto in grassi. D'altro canto, queste specie causano anche ingenti danni alle varie specie di palme coltivate o ornamentali, infatti, nel corso degli anni alcune specie si sono diffusi nei Paesi del Mediterraneo, invadendo anche l'Italia (van Huis *et al.*, 2013).



Figura 9: Adulto di Rhynchophorus ferrugineus (Fonte: it.wikipedia.org).

4.2 ORTOTTERI

Circa 80 specie di Ortotteri vengono consumate in tutto il mondo. Le locuste (Celiferi, Acridiidi) selvatiche, possono vivere durante la loro fase gregaria in sciame, il che rende particolarmente facile la loro raccolta. In Africa, *Schistocerca gregaria* (Forskål) (locusta del deserto), *locusta migratoria* L., *Nomadacris septemfasciata* Serville (locusta rossa) vengono regolarmente consumate dalla popolazione. In particolare, in Sud Africa, Zambia, Botswana e Lesotho, *N. septemfasciata* e *Locustana pardalina* (Walker) (locusta bruna) sono le specie più abbondanti. In Madagascar, c'è un detto comune: "Comment pourriez-vous attraper les sauterelles pondueuses et faire la grasse matinée en même temps?" ("Bisogna svegliarsi presto la mattina per catturare le cavallette"). A Oaxaca, in Messico, la raccolta delle Cehapulines viene effettuata la mattina molto presto (04:00 – 05:00) quando la temperatura è più fresca ed essendo gli insetti a sangue freddo, sono relativamente immobili (van Huis *et al.*, 2013).

Le locuste e le cavallette vengono essiccate al sole e ridotte in polvere prima di essere conservate. *Gryllotalpa longipennis* Scudder (Ensifero, Grillotalpide), viene raccolto principalmente durante i voli estivi, quando fuoriesce dal suolo nella stagione degli accoppiamenti nei campi di riso, mais o canna da zucchero. In Thailandia, viene praticato un piccolo buco nel terreno in prossimità delle loro gallerie e viene versata dell'acqua in modo che gli individui fuoriescano dal terreno (Kelemu *et al.*, 2015).

Varie specie di Ortotteri Ensiferi (grilli) sono consumate in Africa centrale; tuttavia, *Brachytrupes membranaceus* Drury (grillo gigante del tabacco), *Gryllus bimaculatus* De Geer (grillo bimaculato) e specie appartenenti al genere *Acheta* sono le specie più utilizzate per l'alimentazione umana. In Africa meridionale, Zimbabwe sud-orientale, vengono consumati individui selvatici di *Henicus whellani* Chopard (Gahukar, 2011; Manditsera *et al.*, 2019).

4.2.1 *Gryllotalpa gryllotalpa*

Il *Gryllotalpa gryllotalpa* L. (grillo talpa (Figura 10) è un insetto nocivo delle colture erbacee come riso, mais, canna da zucchero e ortive. Questi insetti commestibili sono un alimento molto popolare tra gli abitanti delle Filippine. Nonostante la grande richiesta di questo insetto, l'allevamento non è ancora stato messo in atto degli agricoltori nelle Filippine. Tra le tante specie di insetti comunemente consumate, questa è una delle più popolari in Asia (Adalla, 2010).



Figura 10: Adulto di *Gryllotalpa gryllotalpa* (Fonte: en.wikipedia.org).

4.3 IMENOTTERI

L'Ordine degli Imenotteri include le famiglie degli Apidi, dei Formicidi e dei Vespidi. In Africa sono apprezzate, non solo per il miele, ma anche per le loro larve e le loro pupe, *Apis mellifera* mellifera L. (ape nera) e *A. mellifera adansoni* Latreille (ape africana) (Kelemu *et al.*, 2015).

In Giappone, Cina e Java, larve e pupe di *Apis cerana* Fabricius (ape asiatica), *A. dorsata* (ape gigante dell'India), *A. florea* Fabricius (ape nana) e *Trigona biroi* Friese (tribù Meliponini) (ape senza pungiglione) vengono bollite, saltate in padella o ingerite insieme al polline e al miele. Nelle zone montuose del Giappone, pupe di *Vespula flavipes* L., di *Vespa mandarinia* Smith (calabrone gigante asiatico) e di specie appartenenti al genere *Ropalidia* spp. vengono bollite con salsa di soia o salate e fritte, mentre le loro larve vengono bollite in salsa di soia, zucchero e saké (Gahukar, 2011).

In Giappone, sono anche consumate, larve di specie appartenenti ai generi (*Vespula* e *Dolichovespula*). Nel Giappone centrale, alcune persone sono conosciute come cacciatori di vespe. In estate, cercano i nidi di hebo, delle vespe appartenenti alla sottofamiglia Vespinae, nella foresta. Quindi allevano gli hachinoko (larve e pupe) in cassette di legno. La caccia all'hebo e l'allevamento dell'hachinoko sono diventati un hobby di importanza culturale. Ogni anno, in varie località, vengono organizzati gli "Edible Wasp Festival" (Hebo), dove è possibile assaggiare il tradizionale "hachinoko gohan" (riso al vapore con larve di vespa) oppure l'hebo gohemochi (torta di riso ricoperta con una salsa di hachinoko macinato e grigliate sui carboni ardenti).

Le formiche sono prelibatezze molto ricercate in molte parti del mondo, larve e pupe di specie appartenenti al genere *Oecophylla* (formiche tessitrici) costituiscono un alimento popolare in Asia. Il loro consumo, infatti, è molto diffuso nel sud-est subtropicale di Cina, Bangladesh, India, Malesia e Sri Lanka. Il Ministero della Salute cinese, inoltre, dal 1996 al 2013, ha approvato più di 30 prodotti per la salute contenenti formiche, in quanto esse sono considerate un ingrediente nutritivo e salutare. In Colombia, adulti di *Atta laevigata* Smith (formica tagliafoglie) sono tradizionalmente considerati una prelibatezza gastronomica; questi vengono bolliti in acqua salata e arrostiti, mentre in India le uova di *A. laevigata* vengono raccolte dagli alberi e consumate fritte con sale, spezie e olio di senape (van Huis *et al.*, 2013).

4.3.1 *Camponotus* spp.

Individui appartenenti al genere *Camponotus* (Formicide) (Figura 11) sono una prelibatezza nel nord delle Filippine. Le uova, infatti, sono un piatto speciale, vengono saltate in padella con aglio e cipolle. Le uova vengono raccolte dai tronchi degli alberi facendo la massima attenzione a non creare il minimo disturbo agli adulti, che può essere molto aggressiva e il cui morso risulta fatale per le persone sensibili alle punture di questi insetti. Il consumo di *Camponotus* sp. è limitato per via della difficoltà della raccolta manuale delle uova (Adalla, 2010).



Figura 11: Adulti e uova di *Camponotus* sp. (Fonte: lucianabartolini.net).

4.4 LEPIDOTTERI

I Lepidotteri (notturni e diurni) sono tipicamente consumati allo stadio larvale, ma in alcuni casi, sono consumati anche da adulti. Le larve di *Imbrasia belina* (Saturnide), che si nutrono delle foglie altamente proteiche di *Colophospermum mopane* (albero farfalla o mopane) sono probabilmente le più consumate al mondo (van Huis *et al.*, 2013).

Le larve di *I. belina*, essiccate o mangiate fresche o arrostiti con peperoncino, vengono utilizzate come fonte di alimento nelle comunità rurali di Zimbabwe, Botswana e Namibia. Le larve vengono essiccate al sole oppure bollite, per ottenere un prodotto con una minore carica microbica, e per permetterne la conservazione e la loro commercializzazione (Gahukar, 2011). È stato stimato che circa 9,5 miliardi di larve di *I. belina* vengono raccolte ogni anno nell'Africa meridionale, per un valore di 85 milioni di dollari.

Larve di *Omphisa fuscidentalis* Hampson (Crambide) (piralide del bambù) sono un cibo popolare in India.

In Thailandia, l'allevamento e la commercializzazione di questa specie di Lepidottero, è promossa dal Royal Thai Department of Forestry come fonte di reddito aggiuntivo per gli agricoltori.

Nella Regione del Chiapas in Messico si ritiene che la popolazione locale consumi fino a 27 differenti specie di larve di Lepidotteri (van Huis *et al.*, 2013).

In Nigeria, larve di *Anaphe venata* Butler (Notodontide) (baco da seta africano) e *Cirina forda* (Westwood) (Saturnide) (bruco defogliatore del Karité) sono stati ampiamente commercializzati e venduti per circa il doppio del prezzo della carne di manzo.

Larve di *Eumeta cervina* Druce (Psichide), *Gynanisa ata* Strand (Saturnide) e *Urota sinope* (Westwood) (Saturnide) sono consumati, frequentemente in Africa centrale (Kelemu *et al.*, 2015).

Donne native nella regione del Kalahari, nel sud Africa, spremono gli intestini delle larve di varie specie di Lepidotteri e li arrostitiscono nella cenere calda e nella sabbia, oppure li essiccano al sole per conservarli (Gahukar, 2011).

4.4.1 *Bombyx mori*

Gli allevamenti di *Bombyx mori* L. (Bombicide) vengono condotti da migliaia di anni per la produzione di seta. Le crisalidi del baco da seta vengono mangiate in Paesi dell'Asia e del Sud America. Ad esempio, in Colombia, le pupe di *B. mori* (Figura 12) sono sottoprodotti del settore sericolo, dove si impiegano per l'alimentazione umana e animale, con una produzione annua che si aggira attorno a 1,2-1,4 milioni di bozzoli per ettaro di gelso. Considerando, inoltre, il peso secco di una pupa pari a 0,33 g, la produzione media per ettaro si aggira intorno ai 400-460 kg (DeFoliart, 1989).



Figura 12: Crisalidi di *Bombyx mori* (Fonte: jrunique.com).

4.5 DITTERI

Il consumo di Ditteri non è molto comune, ma in alcune comunità africane è importante il consumo di *Chaoborus edulis* Edwards (Caboride) che viene catturata e poi macinata ed essiccata al sole (Gahukar, 2011).

Larve di *Simulium* spp. possono essere mangiate, anche se ciò viene fatto solo da alcune tribù di Karen, in Thailandia. Larve di questo genere si trovano durante tutto l'anno, soprattutto durante la stagione delle piogge (Leksawasdi, 2010).

Anche in Italia vengono consumati prodotti alimentari in cui sono presenti delle larve di Ditteri. L'esempio più noto è il formaggio con i vermi, che deve il suo caratteristico sapore alla presenza delle larve di *Piophilidae* (Piofilide) (mosca casearia), che nutrendosi del formaggio lo trasformano in una crema piccante. Il più famoso di questa tipologia di formaggi è il "casu marzu" della Sardegna, ma se ne trovano di anche in Calabria, Puglia, Molise, Abruzzo, Emilia, Friuli, Piemonte e Liguria; attualmente ne è però vietata la commercializzazione, perché in contrasto con le norme igienico-sanitarie comunitarie (Nicola e Grassi, 2019).

4.5.1 *Hermetia illucens*

La mosca soldato nera (*Hermetia illucens* L., Stratiomide), è un Dittero originario delle Americhe, anche se ad oggi si trova in tutto il mondo, soprattutto nelle zone tropicali e temperate (Figura 13). La sua bassa resistenza al freddo esclude la sua espansione in Paesi del Nord Europa. Questo insetto è una della quasi 200 specie consumate nel mondo dalle culture entomofaghe, ma non è né popolare né comune e il suo consumo è limitato. La tendenza di *H. illucens* a vivere, in natura, su prodotti di origine organica in decomposizione spiega perché questo insetto non viene consumato comunemente (Wang *et al.*, 2017).



Figura 13: Larve di *Hermetia illucens* (Fonte: notiziescientifiche.it).

5. ASPETTI NUTRIZIONALI

L'incremento della popolazione nel mondo provoca l'aumento della domanda di fonti di proteine, tuttavia, la quantità di terreno agricolo disponibile è limitata. Si stima che nel 2050 la popolazione mondiale supererà i 9 miliardi, con un conseguente fabbisogno crescente di alimenti pari a circa la metà del fabbisogno attuale. Le fonti proteiche convenzionali potrebbero essere insufficienti e ci si dovrà concentrare su fonti alternative, che possono essere ad esempio gli insetti commestibili. Il valore nutritivo di quest'ultimi è molto vario soprattutto per la loro abbondanza e per la variabilità della specie (Kouřimská e Adámková, 2016).

I valori nutrizionali possono variare notevolmente anche all'interno di un gruppo di insetti a seconda dello stadio di sviluppo, origine dell'insetto e dieta. Allo stesso modo il valore nutrizionale cambia a seconda della preparazione e della lavorazione prima del consumo (essiccazione, cottura, frittura, ecc.), mostrando un'elevata variabilità tra le specie ed all'interno della stessa specie (van Huis *et al.*, 2013).

Zonocerus variegatus L. (Ortottero, Celifero) allevato in Nigeria e alimentato con crusca, ha mostrato livelli di proteine quasi raddoppiati rispetto a quelli allevati su mais. In un altro studio, le locuste migratorie sono state nutrite con tre diverse diete, 1. Piante erbacee, 2. Miscuglio di piante erbacee e crusca di frumento o 3. miscuglio di piante erbacee, crusca di frumento e carote, mostrando che l'aggiunta di crusca di frumento nelle diete ha ridotto il contenuto di proteine e aumentato il contenuto di grassi nel corpo degli insetti, mentre l'aggiunta di sole carote ha aumentato sia il livello dei lipidi totali sia di β -carotene (Tao e Li, 2018).

La maggior parte degli insetti commestibili fornisce energia per la dieta umana, oltre a soddisfare i requisiti di amminoacidi. Gli insetti hanno anche un alto contenuto di grassi monoinsaturi e polinsaturi; sono ricchi di oligoelementi come rame, ferro, magnesio, manganese, fosforo, selenio e zinco, nonché, in alcuni casi, vitamine come riboflavina, acido pantotenico, biotina e acido folico (van Huis *et al.*, 2013).

5.1 VALORE ENERGETICO DEGLI INSETTI EDIBILI

Il valore energetico degli insetti commestibili dipende dalla loro composizione, principalmente dal contenuto dei grassi. Larve e pupe sono generalmente più ricche di energia rispetto agli adulti. Al contrario, le specie di insetti ad alto contenuto proteico hanno un contenuto energetico inferiore. La Tabella 5 mostra il valore energetico di alcune specie di insetti commestibili, espresso in kcal per 100 g di peso vivo (van Huis *et al.*, 2013).

Tabella 5: Valore energetico di varie specie di insetti (Fonte: van Huis et al., 2013).

Paese	Nome scientifico	Energia contenuta (kca/100 g di peso vivo)
Australia	<i>Chortoicetes terminifera</i>	499
Australia	<i>Oecophylla smaragdina</i>	1272
Canada (Quebec)	<i>Melanoplus femurrubrum</i>	160
Stati Uniti (Illinois)	<i>Tenebrio molitor (larva)</i>	206
Stati Uniti (Illinois)	<i>Tenebrio molitor (adulto)</i>	138
Costa d'Avorio	<i>Macrotermes subhyalinus</i>	535
Messico (Veracruz)	<i>Atta mexicana</i>	404
Messico (Hidalgo)	<i>Myrmecocystus melliger</i>	116
Thailandia	<i>Gryllus bimaculatus</i>	120
Thailandia	<i>Lethocerus indicus</i>	165
Thailandia	<i>Oxya japonica</i>	149
Thailandia	<i>Cyrtacanthacris tatarica</i>	89
Thailandia	<i>Bombyx mori</i>	94
Paesi Bassi	<i>Locusta migratoria</i>	179

5.2 CONTENUTO IN PROTEINE

Le proteine sono composti organici costituiti da amminoacidi. Sono elementi importanti di nutrizione alimentare, ma contribuiscono anche alle proprietà fisiche e sensoriali dell'alimento stesso. Il valore nutritivo dipende da diversi fattori: il contenuto proteico, che varia ampiamente tra tutti gli alimenti; la qualità delle proteine, che dipende dal tipo di aminoacidi presenti (essenziali o non essenziali); la digeribilità delle proteine, che si riferisce alla digeribilità degli amminoacidi presenti nel cibo. Gli amminoacidi sono elementi necessari per la biosintesi di tutte le proteine attraverso il metabolismo umano per garantire una crescita, uno sviluppo e un mantenimento adeguati. Gli amminoacidi essenziali (fenilalanina, isoleucina, leucina, lisina, metionina, treonina, triptofano e valina) sono indispensabili perché il corpo non può sintetizzarli.

La Tabella 6 mostra che il contenuto di proteine nel corpo degli insetti è compreso tra il 13 e il 77 % di sostanza secca e che esiste una grande variazione all'interno degli Ordini di insetti (van Huis et al., 2013).

Tabella 6: Contenuto in proteine in 7 diverse specie di insetti commestibili (Fonte: van Huis et al., 2013).		
Ordine	Stadio di sviluppo	Proteine (%)
Coleotteri	Adulti e larve	23 – 66
Lepidotteri	Crisalidi e larve	14 – 68
Emitteri	Adulti e larve	42 – 74
Omotteri	Adulti, larve e uova	45 – 57
Imenotteri	Adulti, pupe, larve e uova	13 – 77
Odonati	Adulti e ninfe	46 – 65
Ortotteri	Adulti e ninfe	23 – 65

Esempi di insetti con un alto contenuto proteico sono *G. belina* (bruco del mopane) e *Gryllus testaceus* Walker (grillo campestre). Come già detto in precedenza, il contenuto di proteine dipende dal mangime utilizzato per alimentare gli insetti (verdure, cereali, ecc.), ma dipende anche dallo stadio di sviluppo dell'insetto. Gli adulti solitamente hanno un contenuto proteico più elevato rispetto agli stadi giovanili. Nella Figura 14 è riportata la variazione delle proteine nei vari stadi di sviluppo di *Z. variegatus* di sviluppo (van Huis et al., 2013).

Figura 14: Variazione in contenuto di proteine nei vari stadi di sviluppo di <i>Zonocerus variegatus</i> in Nigeria (Fonte: van Huis et al., 2013).	
Stadio di sviluppo degli insetti	Grammi di proteine/ 100 g di peso vivo
Primo stadio giovanile	18,3
Secondo stadio giovanile	14,4
Terzo stadio giovanile	16,8
Quarto stadio giovanile	15,5
Quinto stadio giovanile	14,6
Sesto stadio giovanile	16,1
Adulto	21,4

5.3 CONTENUTO IN LIPIDI

Il grasso è il macronutriente che fornisce più energia negli alimenti. I grassi li possiamo dividere in saturi ed insaturi. Quelli saturi hanno un punto di fusione più alto rispetto agli acidi grassi insaturi, sono solidi a temperatura ambiente e si trovano in prodotti animali e oli tropicali. Gli acidi grassi insaturi sono costituiti da acidi grassi monoinsaturi e polinsaturi, si trovano generalmente liquidi a temperatura ambiente e sono presenti in oli vegetali, frutta secca e sono considerati migliori per la salute umana rispetto a quelli saturi. Gli insetti commestibili sono un'importante fonte di omega-3 e omega-6. Tale risorsa può sanare le carenze nutrizionali di questi importanti acidi grassi, soprattutto in quei paesi che non hanno sbocchi sul mare e dove quindi risulta estremamente difficile introdurre questi elementi attraverso il consumo di pesce. Le specie di insetti consumate in Cameroon con un alto contenuto di grassi sono: *Rhynchophorus phoenicis* Fabricius, *Ruspolia differens* Serville (Ortottero, Celifero), *Z. variegatus*, *Macrotermes* sp., *Imbrasia* sp. (van Huis *et al.*, 2013).

Gli insetti commestibili contengono in media dal 10 al 60% di grasso della sostanza secca. Come si può notare dalla Figura 15, il contenuto di lipidi è più elevato negli stadi larvali rispetto agli adulti, mentre le larve di Lepidotteri hanno il più alto contenuto di grassi (Kouřimská e Adámková, 2016).

Figura 15: Contenuto di grasso in 7 diverse specie di insetti (Fonte: Kouřimská e Adámková, 2016).			
Nome comune	Nome latino	Stadio sviluppo	Lipidi (% s. s.)
Baco da seta	<i>Bombyx mori</i>	Pupa	29
Ape occidentale	<i>Apis mellifera</i>	larva	31
Locusta migratoria	<i>Locusta migratoria</i>	Ninfa	13
Falena della cera	<i>Galleria mellonella</i>	Crisalide	57
Grillo campestre	<i>Gryllus assimilis</i>	Ninfa	34

Camola della farina	<i>Tenebrio molitor</i>	Larva	36
Camola gigante della farina	<i>Zophobas atratus</i>	Larva	40

Il grasso è presente in diverse forme nell'insetto: i trigliceridi costituiscono circa l'80% dei grassi, i fosfolipidi invece, sono il secondo gruppo più importante e raggiungono circa il 20%, ma variano a seconda dello sviluppo e della specie di insetti. Esiste un contenuto relativamente elevato di acidi grassi a 18 atomi di carbonio tra cui l'acido oleico, linoleico e linolenico nel grasso degli insetti, anche se, il profilo degli acidi grassi è influenzato dal cibo di cui si nutrono (Kouřimská e Adámková, 2016).

5.4 CONTENUTO IN MINERALI

Gli insetti commestibili sono interessanti anche in termini di contenuto di minerali come ferro, zinco, potassio, sodio, calcio, fosforo, magnesio, manganese e rame (Kouřimská e Adámková, 2016).

Nella Tabella 7 è illustrato il contenuto di diversi minerali in 4 specie di insetti: *H. illucens*, *Chilecomadia moorei* Silva Figuero (Lepidottero, Cosside), *Shelfordella lateralis* Walber (Blattoideo) e *Musca domestica* L. (Dittero, Muscide).

Tabella 7: Minerali contenuti in 4 specie di insetti considerati (Fonte: Finke, 2013). HI: <i>Hermetia illucens</i>; CM: <i>Chilecomadia moorei</i>; SL: <i>Shelfordella lateralis</i>; MD: <i>Musca domestica</i>				
Minerali	HI (larva)	CM (larva)	SL (ninfa)	MD (adulto)
Calcio (mg/kg)	9340	125	385	765
Fosforo (mg/kg)	3560	2250	1760	3720
Magnesio (mg/kg)	1740	278	250	806
Sodio (mg/kg)	887	198	744	1350
Potassio (mg/kg)	4530	2590	2240	3030
Zinco (mg/kg)	56,2	35,7	32,7	85,8
Selenio (mg/kg)	0,32	0,03	0,30	0,15

Come si può notare nella Tabella 6, *C. moorei* e *S. lateralis* hanno un basso contenuto in calcio, mentre in *M. domestica* i livelli di calcio sono più elevati al punto che viene raccomandata dal

Nuclear Regulatory Commission (NRC). Anche le larve di *H. illucens* contengono elevati valori di calcio. Tutti gli insetti, inoltre, contenevano una quantità sufficiente di fosforo. Al contrario, la larva di *C. moorei* ha alti livelli di potassio e zinco, ma è carente negli altri minerali (Finke, 2013).

La maggior parte gli insetti commestibili vantano un contenuto di ferro uguale o superiore a quello della carne bovina e il loro inserimento nella dieta quotidiana potrebbe migliorare il livello del ferro ed aiutare a prevenire l'anemia nei paesi in via di sviluppo. Risulta, infatti, che una donna incinta su due e circa il 40% dei bambini in età prescolare è anemico. La carenza di zinco è un altro problema fondamentale di salute pubblica, perché può portare ad un ritardo della crescita, ritardo sessuale e nella maturazione ossea, ma anche lesioni cutanee, diarrea, alopecia, riduzione dell'appetito e aumento della suscettibilità alle infezioni mediate da difetti del sistema immunitario. In generale, si ritiene che la maggior parte degli insetti sia una buona fonte di zinco. La carne di manzo ha una media di zinco di circa 12,5 mg per 100 g di peso secco, mentre larve di *R. phoenicis*, ne contengono 26,5 mg per 100 g (van Huis *et al.*, 2013).

5.5 CONTENUTO IN VITAMINE

Le vitamine sono un gruppo di composti organici necessari per il metabolismo del corpo umano, tuttavia, il nostro organismo non è in grado di sintetizzarle e devono quindi essere assunte attraverso gli alimenti. Molti studi hanno dimostrato che gli insetti commestibili contengono una buona quantità di vitamine (Bernard e Womeni, 2017).

Nella maggior parte degli insetti commestibili sono presenti una serie di vitamine essenziali per stimolare i processi metabolici e rafforzare il sistema immunitario. La tiamina (vitamina B1) varia da 0,1 mg a 4 mg per 100 g di sostanza secca. La riboflavina (vitamina B2) varia da 0,11 a 8,9 mg per 100 mg di specie di insetti. In confronto, il pane integrale fornisce circa 0,18 mg per 100 g di vitamina B1 e B2. La vitamina B12 è presente solo negli alimenti di origine animale ed è ben rappresentato nelle larve di *T. molitor* (0,47 µg per 100 g) ed *A. domesticus* (5,4 µg per 100 g in adulti e 8,7 µg per 100 g nelle ninfe) (van Huis *et al.*, 2013).

D'altra parte, gli insetti, non sono una fonte efficiente di vitamina A e vitamina C. Inoltre, la vitamina E è a basso contenuto per la maggior parte delle specie di insetti analizzati ad eccezione di *Drosophila melanogaster*, *Meigen* (Dittero, Drosofilide) e *Microcentrum rhombifolium* Saussure (Ortottero, Ensifero) (Kouřimská e Adámková, 2016).

Nella Tabella 8 viene riportato il contenuto in vitamine analizzate in *H. illucens*, *C. moorei*, *S. lateralis* e *M. domestica* (Finke, 2013).

Tabella 8: Contenuto di vitamine in *Hermetia illucens* (HI), *Chilecomadia moorei* (CM), *Shelfordella lateralis* (SL) e *Musca domestica* (MD) (Fonte: Finke, 2013).

Vitamine	HI (larva)	CM (larva)	SL (ninfa)	MD (adulto)
Vitamina A (µg/kg)	<300	<300	<300	<300
Vitamina C (µg/kg)	<10	23	<10	<10
Vitamina E (µg/kg)	6,2	13	<3,3	29,7
Vitamina B12 (µg/kg)	55,8	5,1	237	6,0
Tiamina (µg/kg)	7,7	<0,01	0,9	11,3
Riboflavina (µg/kg)	16,2	64,5	15,6	77,2
Acido pantotenico (µg/kg)	38,5	26,5	37	45,3
Acido folico (µg/kg)	2,7	0,83	1,11	1,82
Biotina (µg/kg)	0,35	0,46	0,37	0,68

Dalla Tabella 8 si nota come il contenuto di vitamina E sia molto variabile: non rilevabile in *S. lateralis*, mentre l'adulto di *M. domestica* ne contiene 29,7 mg/kg. Tutti gli insetti testati contengono elevate quantità di vitamine del gruppo B, tuttavia, *C. moorei* e *S. lateralis* sono a ilbasso contenuto di tiamina (Finke, 2013).

5.6 CONTENUTO IN FIBRA

Gli insetti contengono quantità significative di fibra. La forma più comune che si trova negli insetti è la chitina, un polisaccaride costituito da più unità di N-acetilglucosamina (Nacetil-D-glucos-2-ammina) legate tra di loro con un legame di tipo β -1,4. Il contenuto di chitina nelle specie di insetti commestibili allevate varia da 2,7 mg a 49,8 mg per kg fresco e da 11,6 mg a 137,2 mg per kg di sostanza secca. Questa sostanza sembra non possa essere digerita dall'uomo e in questo caso si comporterebbe come una fibra alimentare (van Huis *et al.*, 2013).

La chitina è anche associata alla difesa degli organismi contro alcune infezioni parassitarie e stati allergici. La chitina e il suo derivato il chitosano hanno proprietà che potrebbero migliorare la risposta immunitaria di specifici gruppi di persone, inoltre hanno anche aiutato alcuni individui a essere più resistenti contro batteri e virus patogeni. Inoltre, ci sono anche indicazioni che la chitina potrebbe ridurre le reazioni allergiche in alcuni individui (Kouřimská e Adámková, 2016).

6. VALORI NUTRIZIONI NELLE LARVE *TENEBRIO MOLITOR*

Tenebrio molitor è uno degli insetti commestibili maggiormente consumati, infatti, è una preziosa fonte di nutrienti per l'organismo umano rispetto ad altri alimenti tradizionali a base di carne. La composizione nutrizionale delle larve di *T. molitor* può essere classificata come "ad alto contenuto di" e "fonte di" in base alle soglie per le etichette alimentari dell'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) e della FAO.

Tenebrio molitor ha un alto contenuto di proteine, di grassi e forniscono, inoltre, una notevole quantità di grassi polinsaturi. Le larve di questa specie sono, inoltre, una fonte di zinco e di magnesio, anche se contengono bassi livelli di calcio. Le larve possono essere un'ottima fonte di niacina e di piridossina, riboflavina, acido folico e vitamina B12. Nella Tabella 9 sono descritte le composizioni in acqua, proteine, grassi e ceneri di *T. molitor* (freschi e in polvere). Le larve fresche contengono più proteine e grassi rispetto alle carni tradizionali (pollo, maiale, manzo e pesce) (Siemianowska *et al.*, 2017).

Tabella 9: Composizione prossimale di larve <i>Tenebrio molitor</i>, pollo, manzo, maiale e pesce (%) (Fonte: Siemianowska <i>et al.</i>, 2017).				
Alimenti	Acqua	Proteine	Grassi	Ceneri
Larva <i>T. molitor</i> (fresco)	56,27	17,92	21,93	1,55
Larva <i>T. molitor</i> (polvere)	2,43	44,72	42,48	3,69
Pollo	75,2	17,8	6,0	1,0
Manzo	75,4	20,1	0	1,0
Maiale	75,2	22,0	1,6	1,0
Pesce	70,6	18,6	0,7	1,2

Nelle larve in polvere il contenuto di proteine è circa del 45% ed anche la quantità di grassi sono elevati, infatti si aggirano intorno al 45%. Pupa e larve di *T. molitor* contengono anche una notevole quantità di amminoacidi, vitamine essenziali e minerali. Inoltre, questi insetti contengono anche fibre che aiutano la digestione. Larve fresche e disidratate di *T. molitor* sono caratterizzate da un alto contenuto di minerali come riportato nella Tabella 9. Significativo è il valore di fosforo e sodio che è molto elevato rispetto alla carne tradizionalmente consumata. Dalla tabella 10 si osserva che il valore del ferro è piuttosto elevato rispetto ad altri alimenti come pesce e pollo.

Tabella 10: Contenuto di minerali in larve di <i>Tenebrio molitor</i> (<i>TM</i>), pollo, manzo, maiale (%) (Fonte: Siemianowska et al., 2017). *fresca; **liofilizzata.						
Alimenti	Fosforo	Potassio	Sodio	Magnesio	Calcio	Ferro
<i>TM</i> *	319,1 ± 16,53	373,7 ± 19,07	40,4 ± 2,57	87,5 ± 5,34	16,8 ± 0,95	3,79 ± 1,36
<i>TM</i> **	700,2 ± 40,29	726,6 ± 41,86	81,1 ± 4,66	144,6 ± 4,65	31,5 ± 0,51	4,10 ± 0,20
Pollo	215	334	91	26	8	0,7
Manzo	212	382	52	26	4	3,1
Maiale	208	343	42	24	15	1,0
Pesce	245	420	52	25	18	0,4

Nella Tabella 11 sono descritti i contenuti di acidi grassi presenti nelle larve di *T. molitor* fresche e disidratate. Le larve fresche contengono quantità diverse di acido palmitoleico, acido sapienico, acido α -linoleico e acido elaidico rispetto alle larve disidratate. Possiamo notare inoltre, come il contenuto di acido palmitoleico, acido elaidico e acido oleico in questi insetti è superiore rispetto a quello contenuto nella carne di maiale. Un ottimo rapporto di omega 6 e omega 3 (6,76) in *T. molitor* può essere considerato un altro fattore che determina la loro qualità e aumenta il loro valore nutritivo. Infatti, l'alto contenuto di acidi grassi nella dieta influisce sulla attività antiossidante, che è altamente desiderabile nella dieta umana (Siemianowska et al., 2017).

Tabella 11: Composizione in acidi grassi in larve di <i>Tenebrio molitor</i> e maiali (Fonte: Siemianowska et al., 2017).			
Acidi grassi	<i>Tenebrio molitor</i> (fresco)	<i>Tenebrio molitor</i> (disidratato)	Maiale
Acido laurico (%)	0,36	0,36	0,01
Acido palmitoleico (%)	21,53	23,02	16,66
Acido oleico (%)	6,89	6,89	3,16
Acido arachidico (%)	0,46	0,52	0,55
Acido sapienico (%)	1,86	1,40	0,12
Acido elaidico (%)	51,74	50,05	0,48
Acido linoleico (%)	12,09	10,97	-
Acido α -linoleico (%)	0,12	0,10	1,12
n-6/n3(omega 6/omega3)	6,76	14,49	40,31

7. RISCHIO MICROBIOLOGICO

La sicurezza alimentare, la lavorazione e la conservazione sono strettamente correlate. Gli insetti, come molti prodotti a base di carne, sono ricchi di sostanze nutritive e umidità, le quali riescono a fornire un ambiente favorevole per la sopravvivenza e la crescita microbica. Sebbene siano disponibili un'ampia varietà di metodi di conservazione moderni, possono essere necessarie misure specifiche per garantire che un alimento sia sicuro e di alta qualità per diverse specie di insetti, a seconda della loro composizione biologica.

Il sistema HACCP (Hazard Analysis Critical Control Points) identifica pericoli specifici e stabilisce sistemi di controllo per garantire la sicurezza del cibo. Il suo obiettivo è di natura preventiva, non affidandosi sui test del prodotto finale. L'HACCP è riconosciuto in tutto il mondo come un sistema per la sicurezza della qualità, l'identificazione, la valutazione e il controllo di aspetti fisici, chimici e biologici durante tutto il processo di produzione. Il sistema può essere applicato attraverso la filiera alimentare, dalla produzione primaria al consumo finale. Oltre ad aumentare la sicurezza alimentare, l'applicazione dell'HACCP può aiutare l'ispezione di autorità di regolamentazione e promuovere il commercio internazionale aumentando la fiducia nella qualità degli alimenti. Per questi motivi, l'adozione dell'HACCP in tutta la filiera degli insetti commestibili sarà un fattore determinante per il loro successo e sviluppo (van Huis *et al.*, 2013).

Ci sono due tipi di microbiota da considerare come potenziali rischi negli insetti da utilizzare per il consumo umano e animale, quelli che sono intrinsecamente associati agli insetti come parte del loro stile di vita e quelli che vengono introdotti con l'assunzione del loro alimento durante i processi di lavorazione. Il microbiota (inclusi batteri, virus, funghi) presente nell'intestino degli insetti è essenziale per il metabolismo e quest'ultimo può diventare patogeno per gli insetti in circostanze di stress. Inoltre, come altri animali, gli insetti hanno un microbiota sulla loro superficie e alcuni di questi sono entomopatogeni.

Sorge spontaneo domandarsi se questi microbi (compresi i virus) possono essere patogeni per soggetti diversi dagli insetti, ad esempio, per l'uomo e gli animali. In caso affermativo occorre verificare se possono essere trasferiti attraverso alimenti e mangimi contenenti insetti o prodotti derivati (EFSA, 2015).

7.1 RISCHIO MICROBIOLOGICO ASSOCIATO A BATTERI PATOGENI

La flora microbica degli insetti è composta da batteri di diversi generi: *Staphylococcus*, *Streptococcus*, *Bacillus*, *Proteus*, *Pseudomonas*, *Escherichia*, *Micrococcus*, *Lactobacillus* e *Acinetobacter* (EFSA, 2015).

In diverse specie di insetti allevati (*T. molitor*, *A. domesticus* e *Brachytrupes* sp.) possono essere isolati batteri sporigeni ed Enterobacteriaceae. Gli insetti possono essere soggetti ad una contaminazione rilevante non solo durante il loro ciclo di sviluppo (allevamento), ma anche nelle successive fasi di trasformazione che precedono il loro consumo.

In Kenya, il decesso di cinque individui fu ricondotto all'ingestione di termiti contaminate da *Clostridium botulinum* e conservate sottovuoto durante i quattro giorni di trasporto. Il botulino è stato anche considerato come responsabile della morte di tre persone in Namibia in seguito a ingestione di larve di Lepidotteri.

In Belgio e in Olanda sono stati valutati possibili rischi microbiologici derivanti dall'allevamento di insetti. Tali dati descrivono elevate cariche di batteri aerobi, anaerobi e di Enterobacteriaceae in larve di *T. molitor*, *Z. atratus* e *L. migratoria* che supererebbe il criterio di accettabilità per le preparazioni di carni nella maggioranza dei campioni testati. Un dato rassicurante, invece, è l'assenza di patogeni quali *Salmonella*, *Clostridium perfringens*, *Vibrio* e una presenza di *Bacillus cereus* inferiore a 100 CFU/g nel 93% dei campioni testati (Bellucco *et al.*, 2015).

Campylobacter è stato isolato dagli insetti a contatto con pollame infetto, tuttavia questo microrganismo può sopravvivere solo per un breve periodo nel corpo degli insetti.

Gli insetti possono facilmente acquisire e diffondere *Salmonella* anche per quanto riguarda i sierotipi rilevanti per la salute pubblica, come *Salmonella enteritidis*. Ad esempio, è stato dimostrato che l'alimentazione di larve contaminate di *Lucilia sericata* Meigen (Dittero, Calliforide) ai polli è un mezzo efficace per stabilire infezione da *Salmonella*. (EFSA, 2015).

La bollitura è una tecnica efficace per abbassare la carica microbica degli insetti destinati all'alimentazione umana o animale. Questa tecnica si è dimostrata efficace, in larve di *T. molitor* e adulti di *A. domesticus* per l'eliminazione delle Enterobacteriaceae, ma non per le spore che sono sopravvissute a questo trattamento (van Huis *et al.*, 2013).

In un altro studio è stato dimostrato che l'ebollizione a 100 °C per 8 minuti è in grado di ridurre la carica microbica totale, in particolare di Enterobacteriaceae, a valori inferiori a 10 CFU/g.

L'arrostimento da solo, invece, non si è dimostrato efficace nell'eliminazione totale delle Enterobacteriaceae, quindi per risultare efficace dovrebbe essere accoppiato ad un'ebollizione di qualche minuto. Un ulteriore studio condotto su larve di *T. molitor* e adulti di *L. migratoria* ha dimostrato la capacità che l'essiccazione in forno (11 minuti a 90 °C) ha di ridurre la carica aerobica totale di 2-3 gradi logaritmici e la carica di Enterobacteriaceae di 3-5 gradi logaritmici (Valvassori, 2015).

7.2 RISCHIO MICROBIOLOGICO ASSOCIATO A FUNGHI

Gli insetti sono sensibili ai funghi entomopatogeni, che producono delle tossine letali. Alcuni di questi funghi sono usati come agenti di controllo degli insetti dannosi, soprattutto nelle colture di specie vegetali destinate al consumo animale e umano. Gli insetti possono anche trasportare funghi e lieviti con potenziali rischi per animali ed esseri umani. Lieviti e funghi sono stati trovati in quantità considerevoli negli insetti freschi, liofilizzati e congelati (*T. molitor* e *L. migratoria*) (EFSA, 2015).

Alcuni funghi, come *Aspergillus* spp., *Penicillium* spp. e *Fusarium* spp., possono produrre micotossine che hanno gravi conseguenze per la salute umana (Bellucco *et al.*, 2015).

In generale, qualsiasi rischio derivante da funghi associati a insetti prodotti ad uso alimentare o a mangimi, introdotti durante l'allevamento, la lavorazione e lo stoccaggio, potrebbero essere evitati garantendo corrette misure igieniche nella catena di produzione (EFSA, 2015).

7.3 RISCHIO MICROBIOLOGICO ASSOCIATO A PARASSITI ANIMALI

La presenza di parassiti animali negli insetti è ben documentata in una rassegna sui trematodi intestinali di origine alimentare nel sud-est asiatico, dove è stato discusso l'isolamento di sei diverse specie di insetti. In questo territorio esiste una lunga e diffusa tradizione di consumo di insetti. Prove di autopsie umane e analisi di insetti hanno suggerito la possibile trasmissione alimentare di parassiti (trematodi) appartenenti alla famiglia *Lecithodendridae* e *Plagiorchiidae*.

Il trematode *Dicrocoelium dendriticum* (famiglia Dicrocoeliidae) è un ulteriore agente zoonotico parassita che può infettare gli esseri umani attraverso il consumo di insetti.

Nonostante il legame sporadico tra malattie parassitarie umane e consumo di insetti, non ci sono dati sulla presenza di parassiti negli insetti d'allevamento. Un ambiente agricolo chiuso e adeguatamente gestito non avrebbe tutti gli elementi necessari al completamento dei cicli di

vita dei parassiti. Affidarsi al congelamento e alla cottura può eliminare ulteriormente i potenziali rischi (EFSA, 2015).

7.4 RISCHIO MICROBIOLOGICO ASSOCIATO AI VIRUS

Le infezioni da virus sono una delle principali preoccupazioni degli allevatori di insetti, poiché potrebbero indurre alti tassi di mortalità, con conseguenti perdite economiche.

Una delle famiglie più importanti di virus trasmesse dagli insetti sono gli *arbovirus* che comunque, non si riscontrano nelle specie di insetti che vengono utilizzate come alimento umano.

Il *Cricket paralysis virus* (CrPV) della famiglia *Dicistroviridae* e il *Acheta domesticus densovirus* (AdDV) della famiglia *Parvoviridae* sono considerati i più importanti agenti patogeni per gli Ortotteri Grillidi. Queste famiglie di virus contengono agenti patogeni umani, sollevando la preoccupazione della loro patogenicità per l'uomo. Tra gli altri potenziali patogeni di origine alimentare anche i protozoi parassiti, come *Entamoeba histolytica* e *Giardia lamblia*, sono stati isolati nelle blatte. Le blatte possono anche ospitare *Toxoplasma* spp. e *Sarcocystis* spp., anche se per un breve periodo, come dimostrato in *Periplaneta americana* e *Blattella germanica*.

La mancanza di misure igieniche durante l'allevamento degli insetti (es. suolo, acqua o mangimi contaminati da feci) potrebbe rappresentare un punto d'ingresso dei virus, che così, andrebbero a compromettere tutte le varie fasi della catena alimentare. Inoltre, non può essere eliminata, la possibilità che i prodotti a base di insetti possano essere contaminati durante la loro manipolazione o trasformazione.

La maggior parte dei virus negli insetti sono specifici a livello di famiglia o di specie e sono quindi solo patogeni per invertebrati e non per l'uomo o altri vertebrati come animali da fattoria e uccelli.

In conclusione, i virus patogeni sono specifici per gli insetti e quindi non sono considerati un pericolo per gli animali vertebrati e gli esseri umani (EFSA, 2015).

7.5 TRATTAMENTI PER DIMINUIRE IL RISCHIO MICROBIOLOGICO

La lavorazione di insetti commestibili può aiutare ad abbassare la carica microbica nell'insetto. La figura 16 mostra che l'essiccazione e l'ebollizione/sbollentatura sono i metodi di lavorazione più comunemente usati. Anche la fermentazione, l'affumicatura, la tostatura, la macinatura e la frittura sono ulteriori tecniche praticate, sebbene non siano una pratica comune

per i prodotti a base di insetti. In generale, i metodi di lavorazione sono utilizzati in combinazione, ad esempio, l'ebollizione è seguita da frittura, tostatura o essiccazione. In ogni caso, la carica microbica è maggiore negli insetti freschi rispetto a quelli trasformati (Vandeweyer *et al.*, 2017).

Uno studio effettuato su campioni freschi di *T. molitor*, *A. domesticus* e *Branchytrupes* spp ha mostrato la presenza di Enterobacteriaceae e di batteri che formano spore. I risultati dello stesso studio hanno mostrato che il trattamento termico a secco era inefficace nel ridurre la conta microbica rispetto ad un breve processo di sbollentatura prima della tostatura (Klunder, 2012).

La combinazione di riscaldamento a umido e riscaldamento a secco (bollitura e tostatura a padella aperta) rispetto al riscaldamento a secco (tostatura con cenere calda), hanno contribuito alla riduzione di *E. coli* e *S. aureus* in *T. molitor*. Altre tecniche che hanno dimostrato di ridurre i rischi microbici includono l'uso di trattamenti termici con temperature maggiori o uguali a 80 °C.

In ogni caso, l'ottimizzazione delle condizioni di lavorazione può contribuire notevolmente alla sicurezza degli insetti commestibili (Grabowski e Klein, 2017).

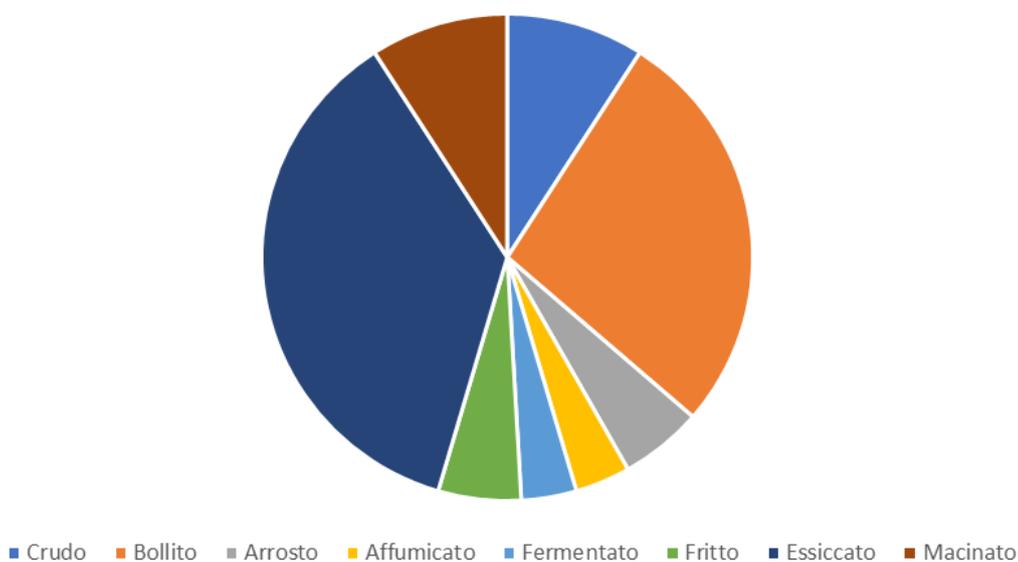


Figura 16: Principali tipi di consumo degli insetti edibili (Fonte: Vandeweyer *et al.*, 2017).

8. RISCHI CHIMICI

Come i prodotti di altri animali, anche gli alimenti derivati da insetti per uso umano o animale possono contenere sostanze pericolose o chimiche. Importante, quindi, è valutare la presenza di contaminanti ambientali come metalli pesanti, diossina e eteri di difenile polibromurato, micotossine e tossine vegetali. Dagli studi effettuati, i possibili contaminanti chimici ritrovati sugli insetti di allevamento sono scarsi, sono invece più numerosi i dati riguardanti gli insetti che vivono in natura (EFSA, 2015).

8.1 RISCHI CHIMICI LEGATI AI METALLI PESANTI

Le concentrazioni di metalli pesanti negli insetti dipendono dalle caratteristiche degli elementi e dalle loro concentrazioni nei substrati alimentari, dalle specie di insetti e dai loro stadi di sviluppo. In uno studio effettuato su alcune specie di Ditteri (*M. domestica*, *C. vomitoria*, *Chrysomya* spp e *H. illucens*) alimentati su diversi substrati, differenti metodologie di produzione e in differenti aree geografiche, il cadmio era presente in alcuni campioni di insetti a concentrazioni che superavano il limite massimo di residui per l'alimentazione animale, mentre non era così per gli altri metalli analizzati.

L'arsenico e il nickel si possono ritrovare negli insetti. Infatti, è stato osservato che larve di *T. molitor* contenevano delle concentrazioni di questi metalli. Il limite legale per l'arsenico nelle materie prime e nei mangimi è di 2 mg kg⁻¹ (per un alimento con umidità del 12%). Diversi autori hanno osservato che larve di *H. illucens* accumulano arsenico dal substrato di crescita, anche se una consistente eliminazione si verificava durante lo sviluppo larvale e quindi una drastica riduzione dei livelli di arsenico in pupe e adulti.

Nella Tabella 12 sono riportati i contenuti di cadmio, piombo, mercurio, arsenico e nickel nelle larve di *H. illucens*. È stato effettuato un confronto con il loro limite legale negli alimenti (Regolamento della Commissione Europea n. 1881/2006) che stabilisce i livelli massimi di alcuni contaminanti. Il cadmio ha mostrato di essere mediamente elevato in *H. illucens*, ma in ogni caso inferiore al limite legale di 0,20 riferito alla carne. Il piombo ha mostrato un contenuto medio di 0,021 ± 0,002 mg kg⁻¹, quindi molto inferiore rispetto al valore di 0,10 riferito alla carne. Per quanto riguarda il mercurio, il contenuto medio era di 0,022 ± 0,008 mg kg⁻¹, vale a dire 15-50 volte inferiore al limite legale parametrato al filetto di pesce. Nella tabella è mostrato inoltre, il contenuto di arsenico medio di 0,041 ± 0,004 mg kg⁻¹, 4-5 volte inferiore al limite legale del riso.

Non sono stati segnalati limiti legali per nickel negli alimenti. Dai risultati, si è osservato un accumulo di cadmio, piombo e mercurio nelle larve di *H. illucens*, tuttavia, queste concentrazioni non hanno superato il limite legale (Truzzi *et al.*, 2020).

Tabella 12: Concentrazione di cadmio, piombo, mercurio, arsenico e nickel (mg kg^{-1} peso umido) nelle prepupe di <i>Hermetia illucens</i> (HI) e limiti legali per gli alimenti (Direttiva 1881/2006 / UE e modifica Regolamenti 420/2011 / UE e 1006/2015 / UE) (Fonte: Truzzi <i>et al.</i>, 2020).					
HI	Cadmio	Piombo	Mercurio	Arsenico	Nickel
Limite legale	0.050-0.20 ^a (carne)	0.10 ^a (carne)	0.50 ^a (filetto di pesce)	0,20 ^a (riso)	-
HI E	0,076 ± 0,010	0,026 ± 0,002	0,030 ± 0,001	0,044 ± 0,002	0,076 ± 0,002
HI As	0,072 ± 0,009	0,021 ± 0,002	0,024 ± 0,002	0,036 ± 0,002	0,054 ± 0,001
HI Bs	0,072 ± 0,006	0,021 ± 0,002	0,020 ± 0,001	0,039 ± 0,001	0,036 ± 0,002
HI Cs	0,078 ± 0,007	0,022 ± 0,002	0,012 ± 0,001	0,043 ± 0,001	0,039 ± 0,003
HI Ds	0,076 ± 0,007	0,023 ± 0,002	0,010 ± 0,001	0,047 ± 0,001	0,046 ± 0,002
HI Ai	0,074 ± 0,005	0,020 ± 0,002	0,032 ± 0,003	0,037 ± 0,002	0,049 ± 0,003
HI Bi	0,076 ± 0,008	0,018 ± 0,002	0,029 ± 0,005	0,040 ± 0,002	0,027 ± 0,003
HI Ci	0,084 ± 0,006	0,020 ± 0,002	0,024 ± 0,003	0,045 ± 0,002	0,024 ± 0,002
HI Di	0,076 ± 0,006	0,021 ± 0,002	0,018 ± 0,005	0,041 ± 0,001	0,018 ± 0,001
<i>^a 1881/2006 / UE e 420/2011 / UE. ^b 1006/2015 / UE. HI E: prepupe allevate su substrato 100% "coffee silverskin (CS)"; HI As, HI Bs, HI Cs e HI Ds: prepupe allevate su substrato CS arricchito con il 5%, 10%, 20% e 25% di Schyzochytrium sp.; HI Ai, HI Bi, HI Ci e HI Di: prepupe allevate su substrato CS arricchito con il 5%, 10 %, 20% e 25% di Isochrysis sp.</i>					

Diversi studi ecotossicologici mostrano la capacità di alcuni insetti erbivori di accumulare elementi come rame, molibdeno e zinco. Per questi elementi, in Europa, sono già in vigore i livelli massimi autorizzati nei mangimi. Tuttavia, ulteriori ricerche sono necessarie per valutare l'appropriatezza dei livelli attuali anche per l'alimentazione degli insetti commestibili (EFSA, 2015).

8.2 RISCHI CHIMICI LEGATI AI PRODOTTI FITOSANITARI

Nel substrato alimentare degli insetti possono essere presenti dei residui di principi attivi contenuti nei prodotti fitosanitari, per questo anche tale aspetto deve essere preso in considerazione. Le concentrazioni di 393 residui di principi attivi ad azione insetticida sono state analizzate in insetti d'allevamento (*M. domestica*, *C. vomitoria* e *H. illucens*) rilevando solo in un campione di larve di *M. domestica* residui dell'insetticida organofosforico clorpirifos (800 µg / kg di peso secco).

In termini di sicurezza dei mangimi, il Codex Alimentarius raccomanda che le concentrazioni di clorpirifos nei mangimi per animali (erba medica e foraggio di piselli, rispettivamente) dovrebbero essere inferiori rispettivamente 5000 µg / kg e 2000 µg / kg. (EFSA, 2015).

8.3 RISCHI CHIMICI LEGATI ALLE MICOTOSSINE

Un ulteriore rischio chimico è rappresentato dalle micotossine. Gli insetti contengono sostanze che vengono sintetizzate oppure bioaccumulate durante l'alimentazione. Le micotossine che possono essere ritrovate negli insetti, derivano nella maggior parte dei casi da funghi patogeni presenti nella sostanza organica di cui si alimenta, come per esempio *Aspergillus* spp., *Penicillium* spp. e *Fusarium* spp. (EFSA, 2015).

Gli effetti delle micotossine sugli insetti sono già stati affrontati da diversi gruppi di ricerca 50 anni fa. Ad esempio, è stato osservato che le spore di *Aspergillus flavus* sono altamente patogene per *M. domestica*, *Plodia interpunctella* Hübner (Lepidottero, Piralide). Inoltre, anche larve di *T. molitor* sono state sensibili alle micotossine prodotte della specie *Fusarium* e *Myrothecium*. Larve di *Heliothis zea* Boddie (Lepidottero, Nottuide) e di *Spodoptera frugiperda* Smith (Lepidottero, Nottuide) sono stati sensibili al deossinivalenolo, una micotossina appartenente al gruppo dei tricoteceni prodotta da alcune specie di *Fusarium*, ad una concentrazione di 25 mg/kg.

Per testare l'ipotesi che gli insetti possano percepire la presenza di micotossine nel grano, è stato effettuato uno studio per osservare i parametri di scelta di cibo nelle larve di *T. molitor* alimentate con cariossidi di frumento colonizzati da varie specie di *Fusarium*. Da questo studio è stato osservato in generale che le cariossidi con presenza di micotossine si sono dimostrate meno attrattive delle cariossidi sane (Schrögel e Wätjen, 2019).

Pertanto, il consumo di insetti commestibili contaminati da micotossine può rappresentare un rischio per l'uomo e per gli animali, anche se, alcune di queste tossine possono essere disattivate attraverso i processi di cottura (EFSA, 2015).

CONCLUSIONI

Gli studi effettuati hanno consentito di capire le ragioni che hanno portato i vari Paesi del mondo ad interessarsi alla produzione ed al consumo di insetti commestibili. La motivazione più importante è rappresentata dall'aumento del numero di abitanti del nostro pianeta e quindi dal crescente fabbisogno di potenziare la produzione di cibo, principalmente di carne.

Gli insetti possono contribuire alla sicurezza alimentare ed essere una parte della soluzione alla carenza di proteine, dato il loro alto valore nutritivo, le basse emissioni di gas serra e l'elevata efficienza con cui gli insetti possono convertire il mangime. Considerando che gli insetti fanno già parte della dieta umana in molti Paesi, il loro potenziale deve essere rivalutato.

Uno degli obiettivi principali, su cui si è focalizzata la tesi, sono state proprio le proprietà nutritive degli insetti. Il loro contenuto calorico si stima intorno a 293–762 kcal per 100 g di materia secca. Anche il contenuto di proteine è molto alto, circa 7-48g/100g di peso negli insetti freschi. Inoltre, sono ricchi di grassi, soprattutto di acidi grassi polinsaturi, omega-3 e omega-6. Per quanto riguarda i carboidrati le informazioni sono scarse e comunque sono formati per la maggior parte da chitina che tuttora non è chiaro se possa essere digerita dagli esseri umani. Gli insetti sono anche ricchi di Sali minerali come ferro, zinco, potassio, magnesio, rame, selenio e vitamine, soprattutto vitamina A, B1 (tiamina), B2 (riboflavina) e B12 ed E.

La tesi, inoltre, si è focalizzata nel determinare il valore nutritivo nelle larve di *T. molitor* fresche e liofilizzate. Questa specie di insetti commestibili ha un buon valore nutrizionale per quanto riguarda il suo contenuto in minerali, proteine, grassi e vitamine.

Nella valutazione del rischio, effettuata dall'EFSA, sono stati indagati i possibili rischi microbiologici e chimici che si possono presentare in seguito al loro consumo. Dal punto di vista igienico sanitario, gli insetti possono essere contaminati da numerosi batteri, in modo particolare *Salmonella*, *Staphylococcus*, *Streptococcus*, *Bacillus*, *Proteus*, *Pseudomonas*, *Escherichia*, *Micrococcus*, *Lactobacillus*, *Acinetobacter*, *Clostridium perfringens*, *Bacillus cereus* che in ogni caso possono essere eliminati attraverso corrette modalità di cottura o utilizzando un substrato di alimentazione per gli insetti idoneo.

I virus che possono essere trasmessi dagli insetti agli uomini, secondo alcuni studi sono risultati essere solo gli *arbovirus* che, comunque, non si riscontrano nelle specie di insetti che vengono utilizzate come alimento umano.

Per quanto riguarda i dati inerenti alla presenza di parassiti sono tutti relativi ad insetti non allevati e quindi si presume che in un allevamento controllato questo tipo di contaminazione non si presenti, così come per la contaminazione derivante da funghi e lieviti.

Un rischio importante deriva anche dalle sostanze chimiche in substrati alimentari contaminati, in particolare metalli pesanti come, diossina, eteri di difenile polibromurato, micotossine e tossine vegetali. Questi, in alcuni casi, possono essere bioaccumulati dagli insetti oppure derivare da residui di prodotti fitosanitari contenuti nei vegetali freschi utilizzati come mangimi per gli insetti.

Per quanto riguarda il rischio derivante da tossine è necessario determinare quali di esse è possibile disattivare mediante le fasi di cottura. Le micotossine invece possono essere riscontrate negli insetti a causa di substrati alimentari contaminati.

Data la disponibilità nel mercato europeo sia di insetti sia di prodotti trasformati, è fondamentale che venga stilata una normativa che definisca le modalità di allevamento, produzione, vendita, commercializzazione ed i requisiti microbiologici e chimici, per garantire la sicurezza del prodotto. Affinché ciò sia possibile, è necessario effettuare nuovi studi che possano dare delle certezze scientifiche per la sicurezza igienica dei prodotti destinati all'alimentazione, in quanto l'obiettivo principale da realizzare è la tutela del consumatore attraverso la sicurezza alimentare.

L'orientamento verso questi nuovi alimenti è sicuramente difficoltoso e lungo a causa di una cultura alimentare ben radicata nei paesi occidentali. Occorre quindi sviluppare una maggiore consapevolezza verso le problematiche ambientali che non sono limitate solo ai confini delle nazioni, ma riguardano l'intero pianeta nel quale viviamo.

BIBLIOGRAFIA

Adalla, C. B., Cervancia, C. R. (2010). Philippine edible insects: a new opportunity to bridge the protein gap of resource-poor families and to manage pests. *Forest insects as food: humans bite back*, 151.

Bellucco, 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 disponibile per l'alimentazione*, 21-28.

Bernard, T., Womeni, H. M. (2017). Entomophagy: insects as food. *Insect physiology and ecology*. InTech, Rijeka, Croatia, 233-254.

Cerda H.; Araujo Y.; Glew R.; Paoletti M. (2005). In: *Ecological implication of Minilivestock*, capitolo 17-Palm worm a traditional food: examples from Alto Orinoco, Venezuela, 353–366.

DeFoliart, G. R. (1989). The human use of insects as food and as animal feed. *American Entomologist*, 35(1), 22-36.

DeFoliart G. (1999). Insect as food: Why western attitude is important. *Annual Review of Entomology*, (44), 21–50.

Dobermann, D., Swift, J. A., Field, L. M. (2017). Opportunities and hurdles of edible insects for food and feed. *Nutrition Bulletin*, 42(4), 293-308.

Durst, P. B., Johnson, D. V., Leslie, R. N., Shono, K. (2010). Forest insects as food: humans bite back. *RAP publication*. 0, 1-15.

EFSA Scientific Committee. (2015). Risk profile related to production and consumption of insects as food and feed. *EFSA Journal*, 13(10), 4257.

Ehounou G. P., Ouaii-N'Goran S. W. M., Niassy S. (2018). Assessment of entomophagy in Abidjan, *African Journal of Food Science*, 12(1), pp. 6-14.

Feng, Y., Chen, X. M., Zhao, M., He, Z., Sun, L., Wang, C. Y., Ding, W. F. (2018). Edible insects in China: Utilization and prospects. *Insect Science*, 25(2), 184-198.

Finke, M. D. (2013). Complete nutrient content of four species of feeder insects. *Zoo biology*, 32(1), 27-36.

Gahukar, R. T. (2011). Entomophagy and human food security. *International Journal of Tropical Insect Science*, 31(3), 129-144.

Grabowski, N. T., Klein, G. (2017). Microbiology of processed edible insect products—Results of a preliminary survey. *International journal of food microbiology*, 243, 103-107.

Grau, T., Vilcinskis, A., Joop, G. (2017). Sustainable farming of the mealworm *Tenebrio molitor* for the production of food and feed. *Zeitschrift für Naturforschung C*, 72(9-10), 337-349.

Kelemu, S., Niassy, S., Torto, B., Fiaboe, K., Affognon, H., Tonnang, H., Maniania, N.K.; Ekesi, S. (2015). African edible insects for food and feed: inventory, diversity, commonalities and contribution to food security. *Journal of Insects as Food and Feed*, 1(2), 103-119.

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.

Kouřimská, L., Adámková, A. (2016). Nutritional and sensory quality of edible insects. *NFS Journal*, 4, 22-26.

Lanfranchi G. (2005). In: *Ecological implication of Minilivestock*, capitolo 9- Minilivestock consumption in the ancient Near East: the case of locust, *Science Publisher*, 163-174.

Leksawasdi, P. (2010). Compendium of research on selected edible insects in northern Thailand. *Forest insects as food: humans bite back*, 183.

Logette L. (2006). In: *Storia e geografia dell'alimentazione*, volume 1, capitolo 6.3- L'Africa nella storia, pp. 412–414.

Longo O. (2006). In: *Storia e geografia dell'alimentazione*, volume 1, capitolo 3.1-II Mediterraneo Greco e Romano, 122.

Macedo, I. M. E., Veloso, R. R., Medeiros, H. A. F., de Fátima Padilha, M. D. R., da Silva Ferreira, G., Shinohara, N. K. S. (2017). Entomophagy in different food cultures| Entomofagia em diferentes culturas alimentares. *Revista Geama*, 3(2), 58-62.

Materia, V. C., Cavallo, C. (2015). Insetti per l'alimentazione umana: barriere e drivers per l'accettazione da parte dei consumatori. *Italian Review of Agricultural Economics*, 70(2), 139-161.

Meyer-Rochow, V. B. (2005). Traditional food insects and spiders in several ethnic groups of northeast India, Papua New Guinea, Australia and New Zealand. *Ecological implications of mini livestock-potential of insects, rodents, frog and snail*. USA, 389-414.

Muafor, F. J., Levang, P., Le Gall, P. (2014). A crispy delicacy: *Augosoma* beetle as alternative source of protein in East Cameroon. *International Journal of Biodiversity*, 2014, 1-7.

Mukiri, M. J., Nyasani, J., Muya, S. M., Nyanjom, S. G., Khamis, F. M., Ombura, F. L., Subramanian, S., Nyambo, B., Ekesi, S., Niassy, S. (2020). Establishment of an

Exotic Parasitoid *Cotesia vestalis* in Coastal Areas of Kenya as Biological Control Agent of *Plutella xylostella*. In *Sustainable Management of Invasive Pests in Africa* (pp. 107-124). Springer, Cham.

Murefu, T. R., Macheke, L., Musundire, R., & Manditsera, F. A. (2019). Safety of wild harvested and reared edible insects: A review. *Food Control*, 101, 209-224.

Nicola, P., Grassi, M. A. (2019). Novel food. Insetti come food and feed: redazione di una prima linea guida, *Prevenzione in corso*, pp. 4-15

Orsi, L., Voegelé, L. L., Stranieri, S. (2019). Eating edible insects as sustainable food? Exploring the determinants of consumer acceptance in Germany. *Food Research International*, 125, 108573.

Schrögel, P., Wätjen, W. (2019). Insects for food and feed-safety aspects related to mycotoxins and metals. *Foods*, 8(8), 288.

Shockley, M., Dossey, A. T. (2014). Insects for human consumption. In *Mass production of beneficial organisms*. Academic Press, 617-652

Siemianowska, E., Kosewska, A., Aljewicz, M., Skibniewska, K. A., Polak-Juszczak, L., Jarocki, A., Jedras, M. (2013). Larvae of mealworm (*Tenebrio molitor* L.) as European novel food, *Agricultural Sciences* pp. 287-291.

Sogari, G. (2015). Entomophagy and Italian consumers: an exploratory analysis. *Progress in Nutrition*, 17(4), 311-316.

Tao, J., Li, Y. O. (2018). Edible insects as a means to address global malnutrition and food insecurity issues. *Food Quality and Safety*, 2(1), 17-26.

Toti, E., Massaro, L., Kais, A., Aiello, P., Palmery, M., Peluso, I. (2020). Entomophagy: A Narrative Review on Nutritional Value, Safety, Cultural Acceptance

and A Focus on the Role of Food Neophobia in Italy. *European Journal of Investigation in Health, Psychology and Education*, 10(2), 628-643.

Truzzi, C., Giorgini, E., Annibaldi, A., Antonucci, M., Riolo, P., Ruschioni, S., Scarponi, G., Conti, C., Zarantoniello, M., Cipriani, R., Olivotto, I., Illuminati, S. (2020). A chemically safe way to produce insect biomass for possible application in feed and food production. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(6), 2121.

Valvassori, R. (2015). Gli insetti: una risorsa sostenibile per l'alimentazione. Le iniziative in Italia. Tavole Rotonde sui maggiori problemi riguardanti l'Entomologia Agraria in Italia, *Atti della Accademia Nazionale Italiana di Entomologia*, pp. 29-32.

van Huis, A., Van Itterbeeck, J., Klunder, H., Mertens, E., Halloran, A., Muir, G., Vantomme, P. (2013). Edible insects: future prospects for food and feed security. *FAO Forestry paper*, 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.

Wang, Y. S., Shelomi, M. (2017). Review of black soldier fly (*Hermetia illucens*) as animal feed and human food. *Foods*, 6(10), 91.

Yen A. (2005). Insect and other invertebrate foods of the Australian aborigens. In: *Ecological implication of Minilivestock*, Science Publisher, 18, 367-387.

Zhi-Yi L. (2005). Insects as traditional food in China. In: *Ecological implication of Minilivestock*, Science Publisher, 23, 475-480.

SITOGRAFIA

Direttiva 2002/32/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 7 maggio 2002, relativa alle sostanze indesiderabili nell'alimentazione degli animali [<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/ALL/?uri=CELEX%3A32002L0032>].

Raccomandazione (UE) 2016/1319 della Commissione, del 29 luglio 2016, che modifica la raccomandazione 2006/576/CE sulla presenza di deossinivalenolo, zearalenone e ocratossina A in prodotti destinati all'alimentazione degli animali [<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/ALL/?uri=CELEX%3A32016H1319>].

Regolamento (CE) n. 1069/2009 del Parlamento europeo e del Consiglio, del 21 ottobre 2009, recante norme sanitarie relative ai sottoprodotti di origine animale e ai prodotti derivati non destinati al consumo umano e che abroga il regolamento (CE) n. 1774/2002 (regolamento sui sottoprodotti di origine animale) [<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/ALL/?uri=CELEX%3A32009R1069>].

Regolamento (CE) n. 178/2002 del Parlamento europeo e del Consiglio, del 28 gennaio 2002, che stabilisce i principi e i requisiti generali della legislazione alimentare, istituisce l'Autorità europea per la sicurezza alimentare e fissa procedure nel campo della sicurezza alimentare [<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/ALL/?uri=CELEX%3A32002R0178>].

Regolamento (CE) n. 1881/2006 della Commissione, del 19 dicembre 2006, che definisce i tenori massimi di alcuni contaminanti nei prodotti alimentari [<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/ALL/?uri=celex:32006R1881>].

Regolamento (CE) n. 767/2009 del Parlamento europeo e del Consiglio, del 13 luglio 2009 , sull'immissione sul mercato e sull'uso dei mangimi, che modifica il regolamento (CE) n. 1831/2003 e che abroga le direttive 79/373/CEE del Consiglio, 80/511/CEE della Commissione, 82/471/CEE del Consiglio, 83/228/CEE del

Consiglio, 93/74/CEE del Consiglio, 93/113/CE del Consiglio e 96/25/CE del Consiglio e la decisione 2004/217/CE della Commissione [<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/ALL/?uri=CELEX:32009R0767>].

Regolamento (CE) n. 999/2001 del Parlamento europeo e del Consiglio, del 22 maggio 2001, recante disposizioni per la prevenzione, il controllo e l'eradicazione di alcune encefalopatie spongiformi trasmissibili [<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/it/TXT/?uri=CELEX%3A32001R0999>].

Regolamento (CEE) n. 315/93 del Consiglio, dell'8 febbraio 1993, che stabilisce procedure comunitarie relative ai contaminanti nei prodotti alimentari [<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/?uri=CELEX%3A31993R0315>].

Regolamento (UE) 2015/2283 Del Parlamento Europeo e del Consiglio del 25 novembre 2015, relativo ai nuovi alimenti e che modifica il regolamento (UE) n. 1169/2011 del Parlamento europeo e del Consiglio e abroga il regolamento (CE) n. 258/97 del Parlamento europeo e del Consiglio e il regolamento (CE) n. 1852/2001 della Commissione [<https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2015/2283/oj>]

Regolamento (UE) 2017/893 della Commissione, del 24 maggio 2017, che modifica gli allegati I e IV del regolamento (CE) n. 999/2001 del Parlamento europeo e del Consiglio e gli allegati X, XIV e XV del regolamento (UE) n. 142/2011 della Commissione per quanto riguarda le disposizioni in materia di proteine animali [<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/?uri=CELEX%3A32017R0893>].