



scienza attiva[®]

EDIZIONE 2015/2016

AGRICOLTURA, ALIMENTAZIONE E SOSTENIBILITA'

Gli insetti nell'alimentazione animale

Laura Gasco

***Università degli Studi di Torino, Dipartimento
di Scienze Agrarie, Forestali e Alimentari
(DISAFA)***

Documento di livello: B



Un progetto di



agorà scienza
centro interuniversitario



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO



scienza attiva[®]

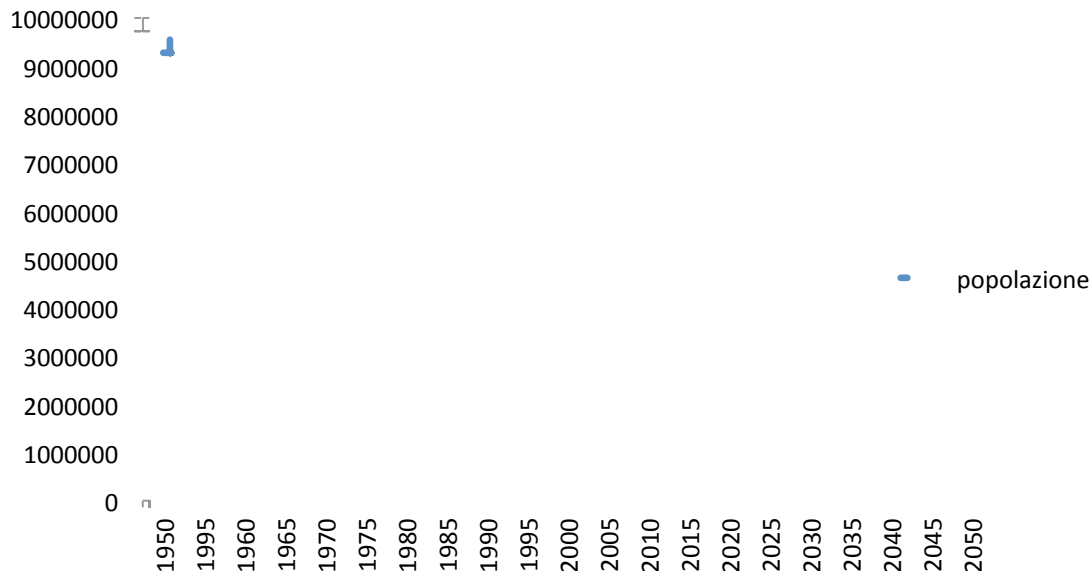
**Con il contributo della Commissione ASPA
Associazione per la Scienza e le Produzioni Animali**

“Utilizzo di fonti proteiche innovative nell'alimentazione animale”

- Acuti Gabriele, Dipartimento di Medicina Veterinaria - Università degli Studi di Perugia;
- Bani Paolo, Istituto di Zootecnica - Università Cattolica del Sacro Cuore di Piacenza;
- Dalle Zotte Antonella, Dipartimento di Medicina Animale, Produzioni e Salute - Università degli Studi di Padova;
- Danieli Pier Paolo, Dipartimento di Scienze e tecnologie per l'Agricoltura, le Foreste, la Natura e l'Energia – Università degli Studi della Tuscia, Viterbo;
- De Angelis Anna, Dipartimento di Scienze Produzioni Agrarie e Alimentari – Università degli Studi di Catania;
- Fortina Riccardo, Dipartimento di Scienze Agrarie, Forestali e Alimentari – Università degli Studi di Torino;
- Gasco Laura, Dipartimento di Scienze Agrarie, Forestali e Alimentari – Università degli Studi di Torino;
- Marino Rosaria, Dipartimento di Scienze Agrarie, degli Alimenti e dell'Ambiente - Università degli Studi di Foggia;
- Parisi Giuliana, Dipartimento di Scienze delle Produzioni Agroalimentari e dell'Ambiente - Università degli Studi di Firenze;
- Piccolo Giovanni, Dipartimento di Medicina Veterinaria e Produzioni Animali - Università degli Studi di Napoli Federico II
- Pinotti Luciano, Dipartimento Scienze Veterinarie per la salute, la produzione animale e la Sicurezza Alimentare - Università degli Studi di Milano;
- Prandini Aldo, Istituto di Scienze degli Alimenti e della Nutrizione - Università Cattolica del Sacro Cuore Piacenza;
- Roncarati Alessandra, Scuola di Bioscienze e Medicina Veterinaria - Università degli Studi di Camerino;
- Schiavone Achille, Dipartimento di Scienze Veterinarie - Università degli Studi di Torino;
- Terova Genciana, Dipartimento di Biotecnologie e Scienze della Vita - Università degli Studi di Insubria, Varese;
- Tulli Francesca, Dipartimento di Scienze degli Alimenti - Università degli Studi di Udine

Le più accreditate stime delle Nazioni Unite e della FAO indicano che nel 2050 la popolazione mondiale supererà i 9 miliardi di persone.

miliardi



Fonte: Nazioni Unite, 2012

E' noto come l'allevamento del bestiame ed il consumo dei prodotti di origine animale contribuiscano in modo determinante al benessere economico e nutrizionale di milioni di persone in tutto il mondo.

Gli alimenti destinati agli animali da reddito (polli, maiali, ovi-caprini, bovini, pesci e altri animali allevati) hanno un ruolo di primo piano nell'industria alimentare globale e sono inoltre la componente più importante per garantire la produzione di proteine d'origine animale di elevato valore biologico per il consumo umano in modo sicuro, continuo ed efficiente. La produzione mondiale di mangimi composti è attualmente stimata pari a circa 1 miliardo di tonnellate all'anno (IFIF, 2014).

Il previsto aumento demografico comporterà un incremento della domanda di alimenti di origine animale (carne, latte e uova) e, di conseguenza, di materie prime convenzionali destinate alla produzione di mangimi.

Per fare fronte all'aumento dei consumi si stima che entro il 2050 la produzione di carne (pollame / suini / bovini) e di prodotti lattiero-caseari raddoppierà, mentre la produzione di pesce da acquacoltura sarà quasi triplicata (FAO, 2011; IFIF, 2014).

Accanto a ciò e, in misura maggiore a livello globale, si assiste ad una competizione per le biomasse, che potenzialmente possono essere impiegate come FOOD, FEED e FUEL (Pinotti e Dell'Orto, 2011; Pinotti et al., 2014). In questo scenario, l'approccio all'alimentazione animale ed alla selezione delle fonti proteiche in particolare, deve essere innovato ed ottimizzato. Poiché le materie prime usate come fonti proteiche nella produzione dei mangimi provengono principalmente dalle coltivazioni industriali (soia, colza, girasole, arachide, cotone, ecc.) e dalla pesca (farine di pesce), incrementarne ulteriormente l'utilizzo è indubbiamente insostenibile. Attualmente, il 15% del pescato a livello mondiale è utilizzato per produrre farina di pesce per gli alimenti zootecnici, mentre questi usano circa il 95% della produzione mondiale di soia. Inoltre, il comparto delle produzioni animali rappresenta l'8% del consumo globale di acqua, principalmente

per l'irrigazione delle colture destinate a produrre materie prime per alimenti zootecnici (FAO, 2009; Foley et al., 2011, Makkar et al., 2014). Si stima inoltre che il settore zootecnico sia responsabile per circa il 15% dell'emissione dei gas serra (Gerber et al., 2013). Inoltre, poiché l'alimentazione animale incide per circa il 60% sui costi di produzione, la crescita della zootecnia dipenderà dalla disponibilità e dalla sostenibilità economico-ambientale delle materie prime. Partendo da tali presupposti si rende necessario un cambiamento di rotta per evitare un ulteriore depauperamento delle risorse del pianeta.

Per sviluppare mangimi ecosostenibili, la ricerca scientifica deve orientarsi verso alternative proteiche innovative in grado di esaltare la biodiversità e di garantire la sostenibilità delle produzioni terrestri ed acquatiche.

La FAO indica le farine di insetti (o delle loro forme larvali) quali fonte proteica innovativa per i mangimi e, mentre in più parti del mondo possono già essere integrati negli alimenti zootecnici, all'interno della Comunità Europea il loro possibile impiego è oggetto di forte discussione (vedere Reg. UE 575/2011 e Reg. UE 56/2013) (van Huis et al., 2013; FAO, 2013, 2014). E' attualmente in corso la stesura di un documento che modifichi le disposizioni contenute del Regolamento (CE) n. 999/2001 al fine di includere gli insetti all'interno dei mangimi e consentire il loro impiego non solo in acquacoltura ma anche nei mangimi per gli avicoli e per i suini.

Nell'ambito del 7° Programma Quadro, è stato finanziato un importante progetto Europeo: PROteINSECT (<http://www.proteinsect.eu/index.php?id=31>) il quale sta fornendo importanti risposte sull'allevamento, l'uso, la sicurezza alimentare e la sostenibilità ambientale dell'impiego di insetti quali alimenti zootecnici.

L'allevamento degli insetti presenta numerosi vantaggi tra i quali (Veldkamp et al., 2012; van Huis et al., 2013):

- l'ottimale indice di conversione (inteso come efficienza di trasformare l'alimento in peso corporeo);
- la loro potenzialità ad essere allevati su prodotti non in competizione alimentare con l'uomo (scarti / reflui) riducendo il problema dello smaltimento dei rifiuti e diminuendo la carica batterica;
- le loro basse emissioni di gas serra e di ammoniaca
- il ridotto spazio richiesto per la loro produzione;
- il basso consumo idrico;
- il ridotto rischio di trasmissione di zoonosi.

Recentemente è stata dimostrata la possibilità di un loro allevamento su base massale (Veldkamp et al., 2012) e nel mondo esistono o si stanno sviluppando realtà industriali vocate alla produzione di insetti su larga scala (FAO, 2013; Drew, 2014; Jeong, 2014; Roos et al., 2014; Enterra, 2014; <http://www.agriprotein.com/>).

Le analisi condotte dimostrano che gli insetti hanno un elevato valore nutrizionale (Newton et al. 1977; Bondari e Sheppard 1987; Finke, 2002). Infatti essi risultano essere una fonte ricca di nutrienti in termini di proteine, grassi, vitamine e sali minerali (Bukkens, 2005; Rumpold e Schluter, 2013). Gli insetti dimostrano inoltre un elevato livello di accettabilità da parte di pesci e avicoli poiché fanno parte della loro dieta naturale e quindi fisiologicamente adatti al loro sistema digestivo (FAO, 2013).

Delle oltre 1900 specie consumate nel mondo e potenzialmente utilizzabili quali nel settore degli animali da reddito (pesci, avicoli e suini), alcune sono state definite più promettenti per via della loro facilità di allevamento e/o le loro caratteristiche nutrizionali.

In particolare la ricerca si è orientata principalmente sulla camola della farina (*Tenebrio molitor*), la mosca soldato (*Hermetia illucens*) e la mosca comune (*Musca domestica*) le cui larve sono

comunemente allevate ed impiegate, vive o trasformate, per l'alimentazione di rettili ed uccelli domestici (Veldkamp et al., 2012) nonché per i pesci.

Tenebrio molitor, conosciuto comunemente come “Tenebrione mugnaio” o “camola della farina” è un coleottero appartenente alla famiglia dei Tenebrionidi, che si ritrova come ospite indesiderato nelle industrie alimentari, dove suole nutrirsi di sfarinati, crusche, paste alimentari ecc. E' un insetto onnivoro che può alimentarsi di vari substrati vegetali o animali (Ramos-Elorduy et al., 2002).

Ha un ciclo di vita variabile da 280 a 630 giorni (Makkar et al., 2014) (Fig. 1) in funzione della temperatura ambientale e presenta uno stadio adulto (insetto) che si riproduce e depone le uova, una forma larvale, che si accresce nutrendosi del substrato e uno stadio di pupa (Fig. 2).



Fig. 1: Ciclo di vita di *T. molitor* (Fonte: <http://herpeticslf.blogspot.it/2012/10/live-foods-alimentos-vivos-part-vi.html>)



Fig. 2. Adulti, larva (al centro) e pupa (a sinistra) di *Tenebrio molitor* (Fonte: www.naturephoto-cz.com)

Hermetia illucens è un insetto saprofago appartenente all'ordine dei Ditteri, famiglia Stratiomidi. Gli adulti hanno il solo compito di riprodursi e deporre le uova, prediligendo la colonizzazione di materiale organico in decomposizione come frutta, carogne, pollina e letame zootecnico, ma anche scarti e sottoprodotti dell'agroindustria e dell'acquacoltura. Le larve che schiudono decompongono il substrato e si accrescono fino alla loro metamorfosi in pupa (Fig. 3).



Fig 3: Adulto, larva e pupa di *Hermetia illucens* (Fonte: blacksoldierflyblog.com)

La durata del ciclo di vita di questo insetto dipende dalle condizioni ambientali e dall'alimentazione e varia dalle 6 alle 30 settimane (Hardouin e Mahoux, 2003; van Huis et al., 2013) (Fig. 4).

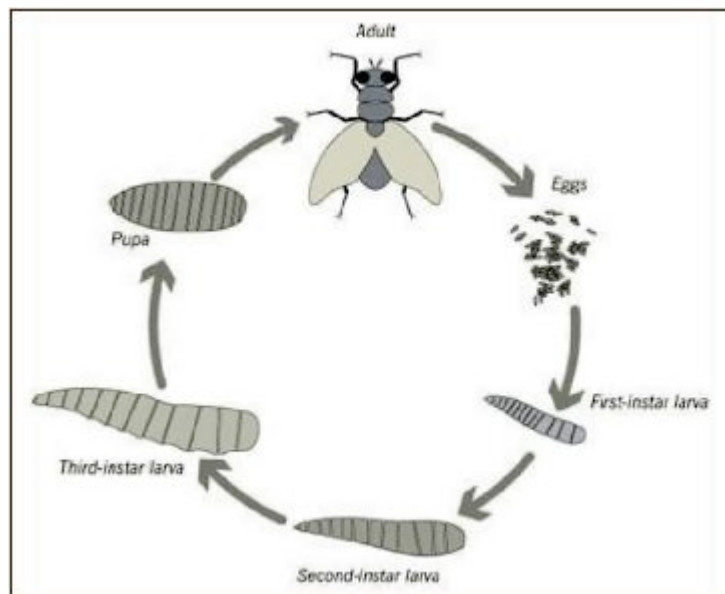


Fig. 4: Ciclo di vita di *Hermetia illucens* (Fonte: <http://kabook-i.com/composting>)

La mosca comune, *Musca domestica*, appartiene come l'*Hermetia illucens* all'ordine dei Ditteri. Gli adulti si differenziano da quelli di *H. illucens* sia per le caratteristiche fisiche, che per la necessità di alimentarsi. Anch'essa, come tutti gli insetti, presenta lo stadio di adulto (che depone le uova), larva e pupa (Fig. 5).



Fig. 5: Adulto, uova (a sinistra), larva (in alto) e pupa (a destra) di *Musca domestica* (Fonte: www.laboratoriosprovet.com)

Dalle uova deposte schiudono rapidamente le larve, che in breve tempo si accrescono su numerosi substrati in decomposizione. L'intero ciclo biologico in condizioni di alimentazione e di ambiente ottimali è di circa 8-10 giorni (35°C) ma può allungarsi fino a 45-50 giorni (16°C) (Fig. 6).

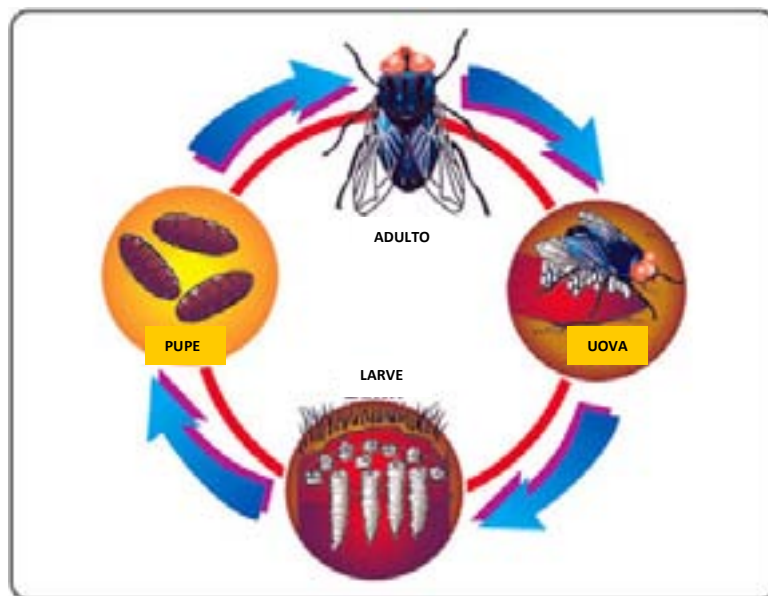


Fig. 6: Ciclo di *Musca domestica* (Fonte: <http://www.dedetizadoramatsuri.com.br/moscas.html>)

La composizione chimica nonché il valore nutrizionale delle larve degli insetti presi in considerazione (Fig. 7 e 8), variano sostanzialmente in funzione del substrato utilizzato per il loro allevamento. In particolare, la frazione grassa è quella più suscettibile di variazioni sia quantitative che qualitative rispetto alla quota proteica.

Le larve di *T. molitor* hanno un contenuto in acqua pari a circa il 60%. Il loro elevato tenore proteico (45-60% sulla sostanza secca, SS) e lipidico (30-45% SS) nonché il loro basso tenore in ceneri (< 5% SS) ne fanno un ottimo nutriente per gli animali. Hanno tuttavia un basso tenore in calcio che può essere modificato arricchendo il substrato di allevamento con questo minerale (Klasing et al., 2000).

Il contenuto proteico delle larve di *H. illucens* di attorno al 40-44% (SS) con un contenuto di grassi che, in funzione del substrato di allevamento, può variare dal 15% (pollina come substrato) (Arango Gutierrez et al., 2004) al 49% (sottoprodotti ricchi in grassi come substrato) (Barry, 2004).

A differenza di quelle di *T. molitor*, le larve di *H. illucens* sono ricche in calcio e fosforo (5-8% e 0,6-1,5% rispettivamente) (Makkar et al., 2014), hanno un minore contenuto in acqua (35-45%) ma un tenore in ceneri più elevato (11-28% SS) (www.feedipedia.org).

Le larve di *M. domestica* sono caratterizzate da un contenuto elevato di sostanza secca (Aniebo et al., 2008; Pretorius, 2011) e da tenori proteici che variano dal 37,5 al 63% (SS). Il tenore lipidico delle larve essiccate è riportato essere compreso tra il 9 ed il 26%. Il contenuto in calcio (0,3-0,8%) è superiore a quello della larva di *T. molitor* ma inferiore a quello di *H. illucens* (www.feedipedia.org).

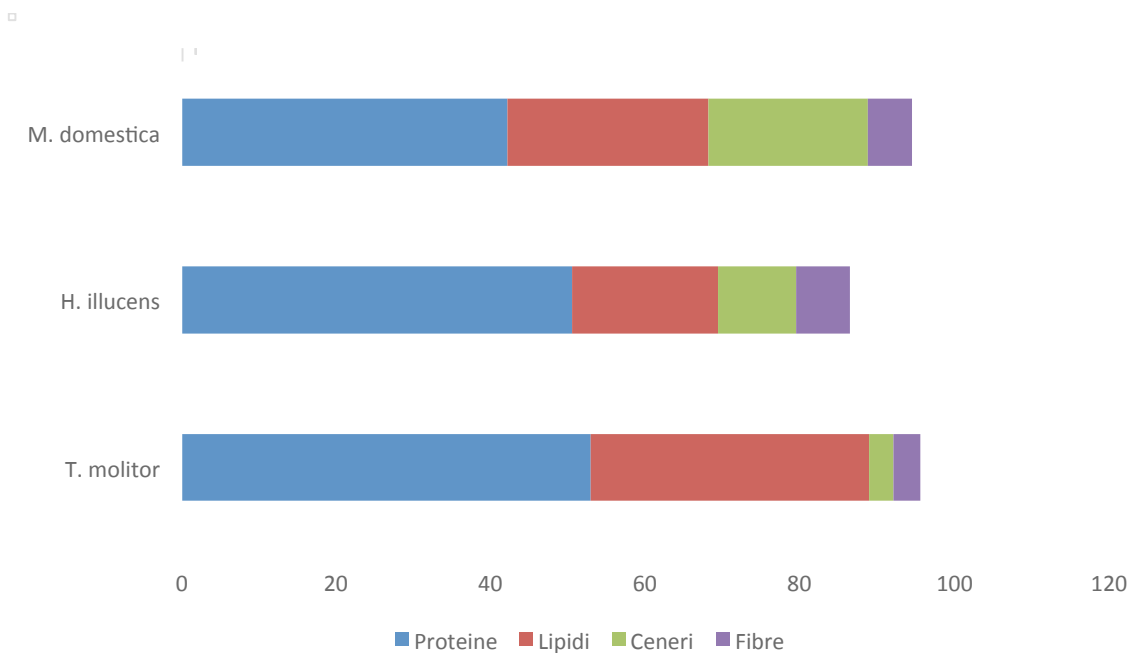


Fig. 7: Composizione chimica media (% SS) di *Tenebrio molitor*, *Hermetia illucens* e *Musca domestica* (www.feedipedia.org)

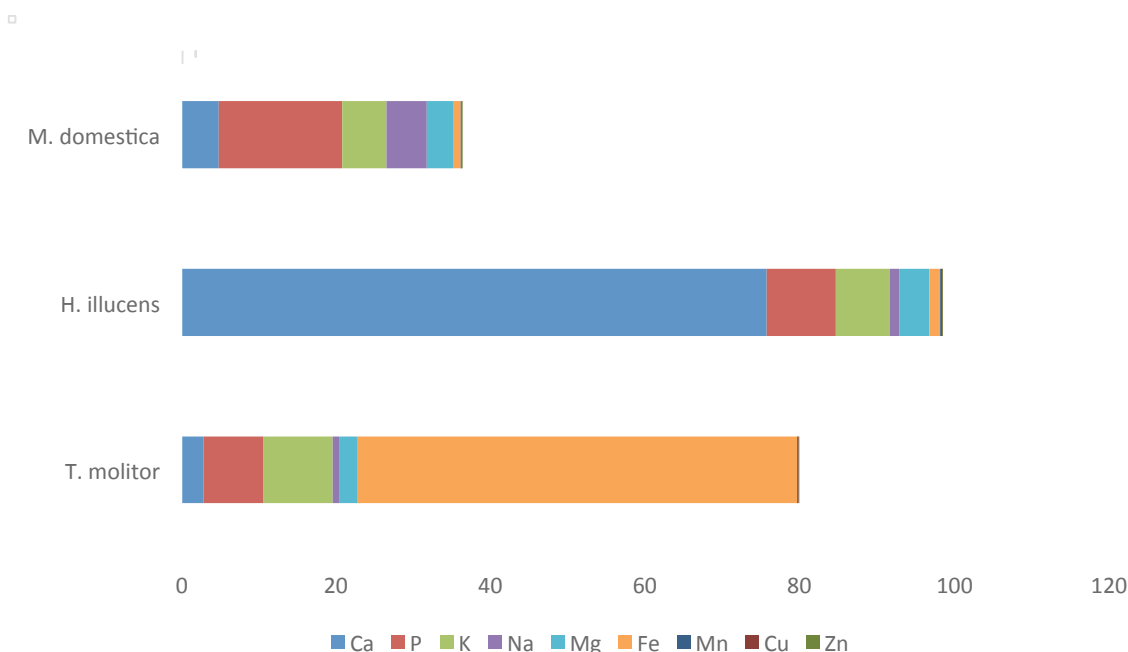


Fig. 8: Contenuto medio in minerali (g/kg SS) di *Tenebrio molitor*, *Hermetia illucens* e *Musca*

domestica (www.feedipedia.org)

Le farine ottenute dalle larve di questi insetti sono state oggetto di attività di ricerca in campo al fine di valutare il loro potenziale nutritivo quali fonti proteiche nell'alimentazione di alcune specie di interesse zootecnico.

Gli insetti per l'acquacoltura

In acquacoltura, alcune prove su pesci hanno mostrato la possibilità dell'uso di farine di larve di insetti. I risultati sono stati variabili a seconda del tipo di larva utilizzata, del suo stato (intera, macinata, sgrassata), del processo di ottenimento della stessa (essiccazione al sole o mediante trattamenti termici) e, naturalmente, della specie di ittica oggetto della sperimentazione.

Tenebrio molitor ha fatto oggetto di alcune prove di accrescimento che hanno messo in evidenza come la sua inclusione nei mangimi per i pesci può portare a risultati interessanti (Tabella 1).

Analogamente, la farina di larva di *Hermetia illucens* è stata oggetto di studio per via dell'eccezionale capacità delle larve di accrescersi su scarti organici, conferendo a tale farina una valenza di maggiore sostenibilità (Tabella 2).

In via generale, la sostituzione della farina di pesce con farina di *H. illucens* ha raggiunto livelli molto elevati anche grazie al miglioramento delle caratteristiche nutrizionali ottenute tramite una specifica selezione del substrato di allevamento degli insetti.































Specie e autori	Tipologia	Prova	Risultati (confrontati a un alimento di controllo senza farine di insetto)	
Pesce gatto africano <i>(Clarias gariepinus)</i>  (Ng et al., 2001)	Farina di larve essiccate	0, 20, 40, 60, 80, 100% di sostituzione della farina di pesce (% della SS)	20%: risultati migliori	
			40%: nessuna differenza	
			80%: parametri produttivi peggiorati ma ritenuti accettabili	
	Larve vive	Dieta commerciale + larve	Nessuna differenza rispetto all'alimentazione con la sola dieta di controllo	
		Solo larve	Peggioramento degli accrescimenti	
Trota iridea <i>(Oncorhynchus mykiss)</i>  (Gasco et al., 2014a)	Farina di larve essiccate	0, 25, 50% inclusione nella dieta (sul tal quale)	Fino al 50%: nessuna differenza	
Orata (avannotti) <i>(Sparus aurata)</i>  (Piccolo et al., 2014)	Farina di larve essiccate	0, 25, 50% inclusione nella dieta (sul tal quale)	25%: nessuna differenza	
			50%: peggioramento degli accrescimenti	
Branzino (avannotti) <i>(Dicentrarchus labrax)</i>  (Gasco et al., 2014b)	Farina di larve essiccate	0, 25, 50% inclusione nella dieta (sul tal quale)	25%: nessuna differenza	
			50%: peggioramento di alcuni indici produttivi	
Pesce gatto comune (avannotti) <i>(Ameiurus melas)</i>  (Roncarati et al., 2014)	Farina di larve essiccate	50% sostituzione Farina di pesce (sul tal quale)	Parametri di accrescimento inferiori ma comunque soddisfacenti	

Tabella 1. *Tenebrio molitor* per l'acquacoltura

Specie e autori	Tipologia	Prova	Risultati (confrontati a un alimento di controllo senza insetto)	
Pesce gatto maculato <i>(Ictalurus punctatus)</i>  (Bondari e Sheppard, 1981)	Larve sminuzzate	Larve in combinazione con alimento commerciale	Accrescimenti (peso e lunghezza) simili Prodotto finale ben accetto da consumatore	
		Larve da sole		
Tilapia del Nilo <i>(Oreochromis niloticus)</i>  (Bondari e Sheppard, 1981)	Larve sminuzzate	Larve in combinazione con alimento commerciale	Accrescimenti (peso e lunghezza) simili Prodotto finale ben accetto da consumatore	
		Larve da sole		
Pesce gatto maculato <i>(Ictalurus punctatus)</i>  (Bondari e Sheppard, 1987)	Farina di larve essiccate	Dieta basale + 10% farina di pesce confrontata con dieta basale + 10% farina di insetto (% tal quale) Prova in vasca: 15 settimane	Peggioramento degli indici produttivi	
Tilapia del Nilo <i>(Oreochromis niloticus)</i>  (Bondari e Sheppard, 1987)	Larve tritate	100% nell'alimento	Peggioramento degli indici produttivi	
	Larve intere	100% nell'alimento	Peggioramento degli indici produttivi	
Trota iridea <i>(Oncorhynchus mykiss)</i>  (St-Hilaire et al. 2007a)	Farina di larve	0, 25 o 50% sostituzione della farina di pesce (% sul tal quale)	25%: nessuna differenza	
		50%: peggioramento degli indici produttivi		
Trota iridea <i>(Oncorhynchus mykiss)</i> 	Farina di larve	25 e 50% di sostituzione (% sul tal quale)	Peggioramento degli accrescimenti Nessuna variazione degli altri parametri produttivi Nessuna differenza	






(Sealey et al., 2011)			percepita dal consumatore	
	Farina di larve allevate su scarti pesce (arricchite in w3)	25 e 50% di sostituzione (% sul tal quale)	Nessuna differenza parametri produttivi Nessuna differenza percepita dal consumatore	
Rombo (<i>Psetta maxima</i>)  (Kroeckel et al., 2012)	Farina sgrassata di larve	0, 17, 33, 49, 64 e 76% di inclusione nella dieta (%SS)	Diminuzione dell'ingestione di alimento con l'aumento del livello di inclusione (diminuzione della palatabilità; Generale peggioramento dei parametri produttivi a livelli di inclusione > 33%	
Salmone atlantico (<i>Salmo salar</i>)  (Lock et al., 2014)	Mix di farine di insetto (contenent e <i>Hermetia</i>)	25, 50% e 100% di sostituzione della farina di pesce	Nessuna differenza	

Tabella 2. *Hermetia illucens* per l'acquacoltura

Per quanto attiene alla mosca domestica, le ricerche sono state principalmente condotte in Africa con specie ittiche di acqua calda. I risultati sono stati economicamente interessanti (Fasakin et al., 2003; Aniebo et al., 2009; Adewolu et al., 2010; Makkar et al., 2014) anche se variabili a seconda della modalità di allevamento e di trattamento delle larve (Tabella 3).














Specie e autori	Tipologia	Prova	Risultati (confrontati a un alimento di controllo senza insetto)	
Pesce gatto africano (<i>Clarias gariepinus</i>) (avannotti) (Fasakin et al., 2003) 	Farina di larve essiccate al sole	Sostituzione del 100% della farina di pesce della dieta	Peggioramento degli indici produttivi	
	Farina di larve essiccate al sole (sgrassate)		Parametri produttivi e sopravvivenza simili alla dieta controllo	
	Farina di larve essiccate in stufa		Peggioramento degli indici produttivi	
	Farina di larve essiccate in stufa (sgrassate)		Parametri produttivi e sopravvivenza simili alla dieta controllo	
Carpa (<i>Cyprinus carpio</i>) (Ogunji et al., 2007) 	Farina di larve	0, 15, 50, 75 e 100% di sostituzione della farina di pesce	Fino al 50% di sostituzione: nessuna differenza	
			Oltre il 50%: peggioramento dei parametri produttivi	
Pesce gatto africano (<i>Clarias gariepinus</i>) (avannotti)  (Aniebo et al., 2009)	Farina di larve	0, 50 e 100 % di sostituzione della farina di pesce (% SS)	Nessun effetto negativo	
Pesce gatto africano (<i>Clarias gariepinus</i>) (avannotti)  (Adewolu et al., 2010)	Farina di larve	Mix di proteine animali (farine di piume, sottoprodotti avicoli e farina di larve (4:3:2)) in sostituzione di 0, 25, 50, 75 e 100% della farina di pesce	Fino a 50%: nessuna differenza	
			Peggioramento degli indici produttivi con livelli del 75 e 100%	

Tabella 3. *Musca domestica* per l'acquacoltura

Gli insetti per l'avicoltura

La documentazione dell'impiego delle farine di *T. molitor*, *H. illucens* e *M. domestica* per l'alimentazione degli avicoli è allo stato attuale piuttosto limitata ancorché promettente. I dettagli riferiti al loro impiego sono riportati nella relativa tabella. Altre fonti di insetti sono state utilizzate in avicoltura con effetti positivi e il numero di studi è limitato per ogni specie di insetto studiato ma rivela una buona numerosità di specie testate quali: *Anabrus simplex*, *Acheta domesticus*, *Bombyx mori*, *Alphitobius diaperinus*, *Tribolium castaneum*, *Blatta orientalis*, *Kaloterme flavicollis* (FAO, 2013).













Specie e autori	Tipologia	Prova	Risultati (confrontati a un alimento di controllo senza insetto)	
 Pollo da carne (Ballitoc e Sun, 2013)	Farina di larve essiccate (<i>T. molitor</i>)	0, 0,5% 1,0% 2,0% 10,0% di inclusione nella dieta (sul tal quale)	Miglior indice di conversione	
			Miglior peso vivo finale	
			Risultati variabili per rese di macellazione e grasso addominale e	
 Pollo da carne (De Marco et al., 2014; Schiavone et al., 2014)	Farina di larve essiccate (<i>T. molitor</i> e <i>H. illucens</i>)	25% sostituzione di una diate base	Ottima digeribilità dei principi nutritivi (proteina, grasso, materia organica) ed elevato contenuto energetico	
 Tacchino (Zuidhof et al., 2003)	Farina di larve essiccate (<i>M. domestica</i>)	Non viene specificato il livello di inclusione	Ottima digeribilità dei principi nutritivi	
 Pollo da carne (Hwangbo et al., 2009)	Farina di larve essiccate (<i>M. domestica</i>)	5,0% 10,0% 15,0% e 20.0%	Incremento del peso vivo ma non dell'indice di conversione alimentare	
			Miglioramento delle rese di macellazione e del contenuto in lisina e triptofano del petto	
			Nessun effetto su colore e contenuto proteico della carne, e grasso addominale	

Tabella 4. *Tenebrio molitor*, *Hermetia illucens* e *Musca domestica* per l'avicoltura

Gli insetti per la suinicoltura

Le prove realizzate utilizzando la farina di insetto per l'alimentazione dei suini sono poche e in parte datate (Tabelle 5 e 6).













Specie e autori	Tipologia	Prova	Risultati (confrontati a un alimento di controllo senza insetto)	
Suini in accrescimento  (Newton et al., 1977)	Farine di larve	Prova di digeribilità. 100% (% SS) di sostituzione della farina di soia nella dieta	Ottima palatabilità delle diete Deficienza o eccesso di alcuni componenti (aminoacidi o ceneri) necessitato di particolari attenzioni nella formulazione delle diete	
Suini in fase di svezzamento  (Newton et al., 2005)	Farine di larve	0, 50 o 100% di sostituzione del plasma senza o con supplementazione di aminoacidi. Valutazione di 3 fasi di accrescimento	<i>Senza supplementazione:</i>	
			50% in fase 1: miglioramento parametri produttivi	
			100% in tutte le fasi: peggioramento di tutti i parametri	
			<i>Con supplementazione:</i>	
100% in tutte le fasi: peggioramento di tutti i parametri				

Tabella 5. *Hermetia illucens* per la suinicoltura

Scrofe e suinetti  (Bayandinaa e Inkina, 1980)	Farina di larve	Confronto di una dieta contenente farina di larve con una dieta di controllo	Nessun effetto negativo sul tasso di accrescimento o sviluppo dei suinetti; Nessun effetto negativo sulle funzioni fisiologiche e riproduttive; Risultati positivi sulla resa in carcassa e sulle proprietà organolettiche	
Suinetti  (Viroje e Malin, 1989)	Farina di larve	Inclusione del 10% di farine di larve in sostituzione alla farina di pesce	Nessun effetto negativo su parametri produttivi	
Suinetti  (Adeniji, 2008)	Farina di larve	Miscela di contenuto ruminale essiccato e farina di larve (3:1) in	Nessun effetto negativo su parametri produttivi ma peggioramento dell'ingestione a livelli di inclusione della miscela superiori al 10%.	

		inclusione del 0, 5, 10, 15 e 20% nella dieta		
--	--	---	--	--

Tabella 6. *Musca domestica* per la suinicoltura

Gli insetti per i ruminanti

Per quanto attiene all'alimentazione dei ruminanti, dalle informazioni attualmente disponibili, non esistono studi relativi all'uso delle farine delle tre specie di insetto prese in considerazione. Studi che hanno riguardato l'uso della farina di baco da seta hanno portato a risultati promettenti (Ioselevich et al., 2004). In Europa tuttavia, permane il divieto dell'uso di farine di origine animale nell'alimentazione dei ruminanti stabilito (Reg. Ce 999/2001) in seguito alle crisi alimentari degli anni '90 (es: epidemia di encefalopatia spongiforme bovina - BSE). L'uso degli insetti quali fonti di preziosi nutrienti è quindi attualmente precluso in Europa per queste specie.

Il futuro

I recenti sviluppi della ricerca mostrano come gli insetti commestibili siano una promettente alternativa per la produzione di proteine, sia per il consumo umano diretto che per l'uso indiretto come materia prima nella preparazione dei mangimi. Tuttavia, è ancora necessaria una grande mole di lavoro multidisciplinare da parte dei ricercatori, cosa che richiederà ancora molti anni prima di poter sfruttare completamente il potenziale nutrizionale che gli insetti offrono. La tabella di marcia stabilita nel 2012 durante l'incontro di consultazione tra gli esperti sulla valutazione del potenziale degli insetti come alimenti per il consumo umano o come componente dei mangimi riassume i principali compiti che ci attendono (FAO, 2013):

- **Documentare** ulteriormente il valore nutrizionale degli insetti al fine di promuoverli come fonte di cibo sano e sicuro.
- **Studiare** la sostenibilità e quantificare l'impatto ambientale dovuto alla cattura ed all'allevamento degli insetti e confrontandogli con quelli dell'agricoltura tradizionale e delle pratiche di allevamento del bestiame.
- **Chiarire e incrementare** i benefici socio-economici che la cattura e l'allevamento di insetti sono in grado di offrire, focalizzando l'attenzione sul miglioramento della disponibilità alimentare delle società più povere.
- **Sviluppare** un quadro giuridico nazionale ed internazionale chiaro e complet, che possa aprire la strada a maggiori investimenti, guidando verso uno sviluppo (dalla scala pilota alla scala industriale) della produzione e del commercio di insetti prodotti per alimenti e per mangimi.

Bisogna informare correttamente i consumatori e convincerli che il *consumo* di insetti rappresenta una risposta positiva non solo per la loro salute ma anche per il pianeta. Inoltre, l'allevamento degli insetti dovrebbe essere promosso e incoraggiato come attività socialmente utile. Esso richiede minime conoscenze tecniche e minimi investimenti di capitale. In più, siccome non richiede l'accesso o la proprietà del territorio, potrebbe essere alla portata anche delle persone più povere e vulnerabili della società.

In futuro, data la previsione di crescita dei prezzi per le proteine animali, gli insetti potranno diventare una fonte economica di proteine alternativa a quelle provenienti dall'allevamento di

bestiame o dalla pesca.

Affinché questo si verifichi, ci sarà bisogno di una significativa innovazione tecnologica, di maturazione nelle preferenze dei consumatori, di adattamenti dell'attuale legislazione relativa agli alimenti ed ai mangimi quindi di una produzione alimentare più sostenibile.

Gli insetti possono contribuire alla disponibilità alimentare ed a colmare in maniera sostenibile la carenza di proteine, dato il loro elevato valore nutritivo, le basse emissioni di gas serra, le modeste richieste di territorio e di acqua l'alta efficienza con la quale possono convertire il loro substrato alimentare. La produzione di biomassa di insetti ed il loro utilizzo come materia prima per i mangimi destinati all'allevamento animale, inclusi i pesci, può avvenire con la biodegradazione di letame, il compostaggio e la sanificazione dei rifiuti. Gli insetti possono in parte sostituire gli ingredienti proteici sempre più costosi usati nei mangimi destinati al bestiame, inclusi pollame e pesci (van Huis, 2013). Considerando che gli insetti fanno già parte della dieta umana in molti Paesi, si tratta di rivalutare il loro potenziale alimentare. La cattura sostenibile di insetti commestibili in natura richiede strategie di conservazione delle risorse naturali. Le misure di contenimento dei danni dovuti alla manipolazione del loro habitat possono aumentare l'abbondanza e l'accessibilità delle popolazioni di insetti. Deve inoltre essere sfruttata la possibilità di controllo simultaneo degli insetti parassiti tramite la loro raccolta come alimento o mangime. Bisogna poi sviluppare le semplici procedure di allevamento di alcune specie di insetti promettenti. La biodisponibilità di micronutrienti (in particolare di ferro e zinco) presenti negli insetti commestibili, necessita di ulteriori indagini data la forte carenza da questi minerali nelle regioni tropicali.

Nel mondo occidentale, l'accettabilità degli insetti da parte dei consumatori sarà determinata dalla combinazione di diversi fattori. Questi ultimi intuitivamente non sono solo economici o ambientali, ma anche socio-culturali. Costruire una "consumer acceptance and perception" riferita agli insetti sarà un percorso lungo, articolato e complicato che richiede oltre ad una forte componente di ricerca e sviluppo anche forti elementi di comunicazione ed educazione. Ad esempio, sono necessarie tecniche di conservazione e di trasformazione degli insetti commestibili per aumentarne la durata di conservazione, preservarne la qualità e aumentare l'accettabilità dei prodotti alimentari a base d'insetti. Sono necessarie anche procedure di elaborazione per trasformare gli insetti in farine per l'alimentazione animale o per l'estrazione di proteine da utilizzare poi come ingredienti nell'industria alimentare, il tutto opportunamente comunicato e veicolato al consumatore ed alla società (Pinotti et al., 2014).

Considerando l'immensa quantità di biomassa d'insetti necessaria per sostituire le attuali fonti proteiche come la farina di pesce e di soia, si rende necessario lo sviluppo di strutture automatizzate per ottenere prodotti stabili, affidabili e sicuri.

La sfida per questo nuovo settore sarà quella di garantire la produzione affidabile ed economicamente sostenibile di una biomassa di insetti di alta e costante qualità.

E' chiaro che per consentire tutto ciò quadri normativi chiari e coerenti devono essere sviluppati. Solo la stretta collaborazione industria-governo-accademia, la cosiddetta *Triple Helix* (Etzkowitz e Leydesdorff, 2000), potrà guidare questa grande innovazione del agro-alimentare settore e, pertanto, sarà essenziale per il successo.

Riferimenti bibliografici

- Adewolu M.A., Ikenweije N.B., Mulero S.M., 2010. Evaluation of an animal protein mixture as a replacement for fishmeal in practical diets for fingerlings of *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822). Israeli J. Aquacult. - Bamidgeh, 62, 237-244.
- Aniebo A. O., Erondue E. S., Owen O. J., 2009. Replacement of fish meal with maggot meal in African catfish (*Clarias gariepinus*) diets. Revista Científica UDO Agrícola, 9, 666-671.
- Aniebo A.O., Erondue E.S., Owen O.J., 2008. Proximate composition of housefly larvae (*Musca domestica*) meal generated from mixture of cattle blood and wheat bran. Livest. Res. Rural Dev., 20.
- Arango Gutierrez, G.P., Vergara Ruiz, R.A., Mejia Velez, H., 2004. Compositional, microbiological and protein digestibility analysis of larval meal of *Hermetia illucens* (Diptera:Stratiomyidae) at Angelopolis-Antioquia, Colombia. Rev. – Facult. Nacl. Agron. Med. 57, 2491–2499.
- Ballitoc D. A., Sun S., 2013. Ground yellow mealworms (*Tenebrio molitor* L.) feed supplementation improves growth performance and carcass yield characteristics in broiler. Open Science Repository Agriculture.
- Barry T., 2004. Evaluation of the economic, social, and biological feasibility of bioconverting food wastes with the black soldier fly (*Hermetia illucens*). PhD Dissertation, University of Texas, August 2004, 176 pp.
- Bayandina G.V., Inkina Z.G., 1980. Effects of prolonged use of housefly larvae in the diet of sows and their offspring on fattening and meat quality of the young. Nauchnye Trudy Novosibirskogo Sel'skokhozyaistvennogo Inst 134, 52–59.
- Bondari, K., Sheppard, D.C., 1981. Soldier fly larvae as feed in commercial fish production. Aquaculture 24, 103–109.
- Bondari, K., Sheppard, D.C., 1987. Soldier fly, *Hermetia illucens* L., larvae as feed for channel catfish, *Ictalurus punctatus* (Rafinesque), and blue tilapia, *Oreochromis aureus* (Steindachner). Aquacult. Fish. Manage. 18, 209–220.
- Bukkens S., 2005. Insects in the human diet: nutritional aspects. In: Paoletti MG, editor. Ecological implications of minilivestock: potential of insects, rodents, frogs and snails. Enfield, N.H.: Science Publisher.
- De Marco M., Rotolo L., Gasco L., Belforti M., Gai F., Martinez S., Madrid J., Hernandez F., Katz H., Zoccarato I., Schiavone A., 2014. Apparent digestibility and metabolizable energy of two different insects meal (*Hermetia illucens* and *Tenebrio molitor*) in broiler chickens. 18th Congress of the European Society of Veterinary and Comparative Nutrition. 11-13 September, Utrecht, Netherlands.
- Drew D., 2014. AgriProtein: Building the worlds' largest insect rearing protein farm – a history and vision. In: Vantomme P., Munke C., van Huis A. (Eds.), 1st International conference “Insects to Feed the World”. Wageningen University, Ede-Wageningen, The Netherlands, pp. 60.
- Enterra, 2014. Renewable Food for Animals & Plants™. <http://www.enterrafeed.com/>
- Etzkowitz H., Leydesdorff L., 2000. The dynamics of innovation: from National Systems and “Mode 2” to a Triple Helix of university–industry–government relations. Res. Policy 29, 109–123.
- FAO, 2009. The State of Food and Agriculture: Livestock in the Balance. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome.
- FAO, 2011. World Livestock 2011 – Livestock in Food Security. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome.
- FAO, 2013. Edible insects. Future prospects for food and feed security

(<http://www.fao.org/docrep/018/i3253e/i3253e.pdf>).

FAO, 2014. Discussion paper: Regulatory frameworks influencing insects as food and feed. Preliminary draft. <http://www.fao.org/forestry/39620-04ee142dbb758d9a521c619f31e28b004.pdf>

Fasakin E.A., Balogun A.M., Ajayi O.O., 2003. Evaluation of full-fat and defatted maggot meals in the feeding of clariid catfish *Clarias gariepinus* fingerlings. *Aquaculture Research* 34: 733-738.

Finke M.D., 2002. Complete nutrient composition of commercially raised invertebrates used as food for insectivores. *Zoo Biol.* 21, 269–285.

Foley J.A., Ramankutty N., Brauman K.A., Cassidy Emily S., Gerber James S., Johnston Matt Mueller Nathaniel D., O’Connell C., Ray D.K., West P.C., Balzer C., Bennett E.M., Carpenter S.R., Hill J., Monfreda C., Polasky S., Rockstrom J., Sheehan J., Siebert S., Tilman D., Zaks D.P.M., 2011. Solutions for a cultivated planet. *Nature* 478, 337–342.

Gasco L., Belforti M., Rotolo L., Lussiana C., Parisi G., Terova G., Roncarati A., Gai F., 2014. Mealworm (*Tenebrio molitor*) as a potential ingredient in practical diets for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). In: Vantomme P., Munke C., van Huis A. (Eds.), 1st International conference “Insects to Feed the World”. Wageningen University, Ede-Wageningen, The Netherlands, pp. 69.

Gasco L., Gai F., Piccolo G., Rotolo L., Lussiana C., Molla P., Chatzifotis S., 2014b. Substitution of fishmeal by *Tenebrio molitor* meal in the diet of *Dicentrarchus labrax* juveniles. In: Vantomme P., Munke C., van Huis A. (Eds.), 1st International conference “Insects to Feed the World”. Wageningen University, Ede-Wageningen, The Netherlands, pp. 70.

Gerber P.J., Steinfeld H., Henderson B., Mottet A., Opio C., Dijkman J., Falcucci A., Tempio G., 2013. Tackling Climate Change Through Livestock – A Global Assessment of Emissions and Mitigation Opportunities. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome.

Hardouin J., Mahoux G., 2003. Zootechnie d’insectes – Elevage et utilisation au bénéfice de l’homme et de certains animaux. In: Bureau pour l’Echange et la Distribution de l’Information sur le Mini-élevage (BEDIM), 164 p.

http://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/expert_paper/How_to_Feed_the_World_in_2050.pdf

Hwangbo J., Hong E.C., Jang A., Kang H.K., Oh J.S., Kim B.W., Park B.S., 2009. Utilization of house fly-maggots, a feed supplement in the production of broiler chickens. *J. Environ. Biol.* 30(4), 609-614.

IFIF, 2014. International Feed Industry Federation. (disponibile su www.ifif.org) <http://www.ifif.org/pages/t/The+global+feed+industry> (accesso 19/9/2014)

Ioselevich M., Steingaß H., Rajamurodov Z., Drochner W., 2004. Nutritive value of silkworm pupae for ruminants. In: VDLUFA Kongress, Qualitätssicherung in landwirtschaftlichen Produktionssystemen, vol. 116, Rostock, 108 pp.

Jeong, J., 2014. Perspectives of insect industry in South Korea: Government policies and R&D strategies. In: Vantomme P., Munke C., van Huis A. (Eds.), 1st International conference “Insects to Feed the World”. Wageningen University, Ede-Wageningen, The Netherlands, pp. 33.

Klasing K.C., Thacker P., Lopez M.A., Calvert C.C., 2000. Increasing the calcium content of mealworms (*Tenebrio molitor*) to improve their nutritional value for bone mineralization of growing chicks. *J. Zoo Wildlife Med.* 31, 512–517.

Kroeckel S., Harjes A.G.E., Roth I., Katz H., Wuertz S., Susenbeth A., Schulz C., 2012. When a turbot catches a fly: evaluation of a pre-pupae meal of the Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) as fish meal substitute – growth performance and chitin degradation in juvenile turbot (*Psetta maxima*). *Aquaculture* 364/365, 345–352.

Lock E.J., Arsiwalla T., Waagbø R., 2014. Insect meal: a promising source of nutrients in the diet of Atlantic salmon (*Salmo salar*). In: Abstract Book Conference Insects to Feed The World, The

Netherlands, 14–17 May, p. 74.

Makkar H.P.S., Tran G., Heuzé V., Ankers P., 2014. State-of-the-art on use of insects as animal feed. Anim. Feed Sci. Tech. In press, <http://dx.doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2014.07.008>

Nazioni Unite, 2012. Population Division of the Department of Economic and Social Affairs of the United Nations Secretariat, World Population Prospects: The 2012 Revision, <http://esa.un.org/unpd/wpp/index.htm> (accesso 20/9/2014)

Newton G.L., Booram C.V., Barker R.W., Hale O.M., 1977. Dried *Hermetia illucens* larvae meal as a supplement for swine. J. Anim. Sci. 44, 395–40

Newton L., Sheppard C., Watson D.W., Burtle G., Dove R., 2005. Using the black soldier fly, *Hermetia illucens*, as a value-added tool for the management of swine manure. In: Report for Mike Williams, Director of the Animal and Poultry Waste Management Center. North Carolina State University.

Ng W.K., Liew F.L., Ang L.P., Wong K.W., 2001. Potential of mealworm (*Tenebrio molitor*) as an alternative protein source in practical diets for African catfish, *Clarias gariepinus*. Aquacult. Res. 32 (Supplement 1), 273–280.

Ogunji J. O., Nimptsch J., Wiegand C., Schulz C., 2007. Evaluation of the influence of housefly maggot meal (maggot meal) diets on catalase, glutathione S-transferase and glycogen concentration in the liver of *Oreochromis niloticus* fingerling. Comp. Biochem. Physiol. A, Molecular & Integrative Physiology 147, 942–947.

Piccolo G., Marono S., Gasco L., Iannaccone F., Bovera F., Nizza, A., 2014. Use of *Tenebrio molitor* larvae meal in diets for Gilthead seabream *Sparus aurata* juveniles. In: Vantomme P., Munke C., van Huis A. (Eds.), 1st International conference “Insects to Feed the World”. Wageningen University, Ede-Wageningen, The Netherlands, pp. 68.

Pinotti L., Krogdahl A., Givens I., Knight C., Baldi A., Baeten V., Van Raamsdonk L., Woodgate S., Perez Marin D., Luten J., 2014. The role of animal nutrition in designing optimal foods of animal origin as reviewed by the COST Action Feed for Health (FA0802). Biotechnology, Agronomy and Society and Environment, 18, in press

Pinotti, L., Dell'Orto, V., 2011. Feed safety in the feed supply chain. Biotechnology, Agronomy and Society and Environment, 15 (SPEC. ISSUE 1), pp. 9-14.

Pretorius Q., (Thesis M.Sc. Agric, Animal Sciences) 2011. The Evaluation of Larvae of *Musca domestica* (Common House Fly) as Protein Source for Broiler Production. University of Stellenbosch.

Ramos-Elorduy J., Avila Gonzalez E., Rocha Hernandez A., Pino, J.M., 2002. Use of *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae) to recycle organic wastes and as feed for broiler chickens. J. Econ. Entomol. 95, 214–220.

Roncarati A., Gasco L., Parisi G., Terova G., 2014. Growth performance of common catfish (*Ameiurus melas* Raf.) fingerlings fed insect meal diets. In: Vantomme P., Munke C., van Huis A. (Eds.), 1st International conference “Insects to Feed the World”. Wageningen University, Ede-Wageningen, The Netherlands, pp. 162.

Roos N., Owino V., Kinyuru J., Ekesi S., Courtwright G., Drew D., Hanboonsong Y., Vantomme P., Chamnan C., Olsen S.B., Jensen A.B., Ayieko M., 2014. GREEINSECT: a multidisciplinary research project on potentials and barriers for insect-farming for food and feed in Kenya. In: Vantomme P., Munke C., van Huis A. (Eds.), 1st International conference “Insects to Feed the World”. Wageningen University, Ede-Wageningen, The Netherlands, pp. 30.

Rumpold B.A., Schluter O.K., 2013. Nutritional composition and safety aspects of edible insects. Mol. Nutr. Food Res., 57, 802–823.

Schiavone A., De Marco M., Rotolo L., Belforti M., Martinez Mirò S., Madrid Sanchez J., Hernandez Ruiperez F., Bianchi C., Sterpone L., Malfatto V., Katz H., Zoccarato I., Gai F., Gasco L., 2014.

Nutrient digestibility of *Hermetia illucens* and *Tenebrio molitor* meal in broiler chickens. In: Vantomme P., Munke C., van Huis A. (Eds.), 1st International conference “Insects to Feed the World”. Wageningen University, Ede-Wageningen, The Netherlands, pp. 73.

Sealey W.M., Gaylord T.G., Barrows F.T., Tomberlin J.K., McGuire M.A., Ross C., St-Hilaire S., 2011. Sensory analysis of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*, fed enriched black soldier fly prepupae, *Hermetia illucens*. J. World Aquacult. Soc. 42, 34–45.

St-Hilaire S., Cranfill K., McGuire M.A., Mosley E.E., Tomberlin J.K., Newton L., Sealey W., Sheppard C., Irving S., 2007b. Fish offal recycling by the black soldier fly produces a foodstuff high in omega-3 fatty acids. J. World Aquacult. Soc. 38, 309–313.

St-Hilaire S., Sheppard C., Tomberlin J.K., Irving S., Newton L., McGuire M.A., Mosley E.E., Hardy R.W., Sealey W., 2007a. Fly prepupae as a feedstuff for rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. J. World Aquacult. Soc. 38, 59–67.

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.

Veldkamp T., van Duinkerken G., van Huis A., Lakemond C.M.M., Ottevanger E., Bosch G., van Boekel M.A.J.S., 2012. Insects as a sustainable feed ingredient in pig and poultry diets – a feasibility study. In: Rapport 638 – Wageningen Livestock Research.

Viroje W., Malin S., 1989. Effects of fly larval meal grown on pig manure as a source of protein in early weaned pig diets. *Thurakit Ahan Sat*, 6 (21): 25-31.

Zuidhof M.J., Molnar C.L., Morley F.M., Wray T.L., Robinson F.E., Khana B.A., Al-Ani L., Goonewardene L.A., 2003. Nutritive value of house fly (*Musca domestica*) larvae as a feed supplement for turkey poults. *Anim. Feed Sci. Technol.* 105, 225–230.