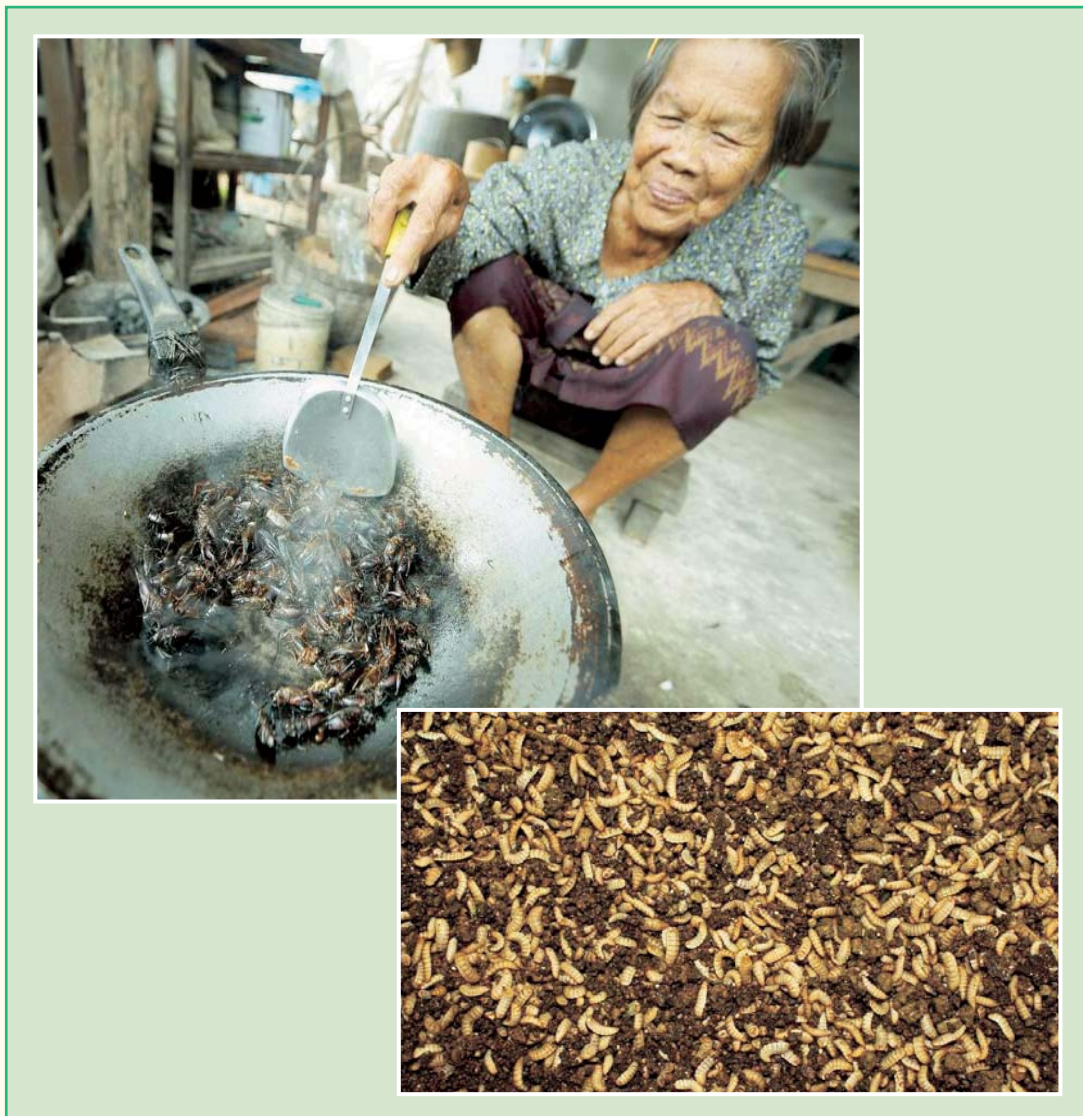




Tavole Rotonde sui maggiori problemi
riguardanti l'Entomologia Agraria in Italia

XXVI. GLI INSETTI: UNA RISORSA SOSTENIBILE PER L'ALIMENTAZIONE



Estratto anticipato con numerazione progressiva delle pagine provvisoria
ed errata per le relative citazioni bibliografiche

ATTI DELLA
ACCADEMIA NAZIONALE
ITALIANA DI ENTOMOLOGIA
Anno LXIII - 2015



Tavole Rotonde sui maggiori problemi
riguardanti l'Entomologia Agraria in Italia

XXVI.
GLI INSETTI:
UNA RISORSA SOSTENIBILE PER L'ALIMENTAZIONE

Estratto anticipato con numerazione progressiva delle pagine provvisoria
ed errata per le relative citazioni bibliografiche

ATTI DELLA
ACCADEMIA NAZIONALE
ITALIANA DI ENTOMOLOGIA
Anno LXIII - 2015

© 2015 Accademia Nazionale Italiana di Entomologia
50125 Firenze - Via Lanciola 12/a

ISBN 978-88-96493-14-4

PRESENTAZIONE

La pressante esigenza di individuare nuove fonti alimentari in grado di sfamare la popolazione globale in continua crescita, e di produrre proteine animali di alta qualità con un maggior rispetto per le risorse limitate del pianeta e per il benessere animale, impongono indirizzi strategici innovativi riguardo alla scelta di nuove specie animali da allevare e di metodi di allevamento. L'uso alimentare di insetti, sia per il consumo umano che per la produzione di farine per mangimi animali, è stato indicato dalla FAO come la più promettente via per una produzione sostenibile di cibo. Questo indirizzo è attualmente sostenuto anche in Expo 2015 a Milano.

L'Accademia Nazionale Italiana di Entomologia e la Società Entomologica Italiana, condividendo gli obiettivi proposti dalla FAO e consapevoli, data la propria specifica cultura scientifica, di essere chiamate in prima persona a comprendere e sostenere lo sviluppo di questa rivoluzione epocale, hanno congiuntamente promosso l'incontro del 16 gennaio 2015 a Firenze come prima iniziativa tesa a promuovere sia la conoscenza delle importanti problematiche che l'allevamento intensivo di insetti comporta, che il dibattito consapevole e costruttivo.

ROMANO DALLAI

Presidente Accademia Nazionale Italiana di Entomologia

INDICE

Tavola Rotonda su:

GLI INSETTI: UNA RISORSA SOSTENIBILE PER L'ALIMENTAZIONE

STEFANO TURILLAZZI, BARBARA GIORDANA <i>Gli insetti: una risorsa sostenibile per l'alimentazione - Introduzione</i>	Pag. 9
PAUL VANTOMME <i>Farming insects as a viable and global source of animal proteins</i>	» 13
SIMONE BELLUCO, ALBERTO MANTOVANI, ANTONIA RICCI <i>Il consumo di insetti dal punto di vista della sicurezza alimentare: inquadramento normativo e valutazione dei rischi</i>	» 21
ROBERTO VALVASSORI <i>Gli insetti: una risorsa sostenibile per l'alimentazione. Le iniziative in Italia</i>	» 29
MARIO COLOMBO <i>L'allevamento degli insetti per l'alimentazione: problematiche, cautele e prospettive</i>	» 33
SILVIA CAPPELLOZZA, ALESSIO SAVIANE <i>Allevamento su larga scala d'insetti e filiere produttive</i>	» 39
MORENA CASARTELLI, GIANLUCA TETTAMANTI <i>Utilizzo di insetti come biotrasformatori: dallo scarto alimentare alla produzione di proteine animali per la mangimistica</i>	» 45
ANNA MARIA FAUSTO, ROMOLO FOCHETTI, MARZIO ZAPPAROLI, PIER PAOLO DANIELI <i>Costi e benefici dell'entomofagia: sostenibilità ambientale dell'allevamento su larga scala</i>	» 51

SEDUTA PUBBLICA, FIRENZE 16 GENNAIO 2015

Tavola Rotonda su:

GLI INSETTI: UNA RISORSA SOSTENIBILE PER L'ALIMENTAZIONE

Coordinatori:

STEFANO TURILLAZZI e BARBARA GIORDANA, Accademici

GLI INSETTI: UNA RISORSA SOSTENIBILE PER L'ALIMENTAZIONE

Introduzione alla Tavola Rotonda

STEFANO TURILLAZZI (*) - BARBARA GIORDANA (**)

(*) *Dipartimento di Biologia, Università degli Studi di Firenze*

(**) *Università di Milano*

Lettura tenuta durante la Seduta pubblica dell'Accademia Nazionale Italiana di Entomologia su "Gli Insetti: una risorsa sostenibile per l'alimentazione" - Firenze, 16 gennaio 2015.

GLI INSETTI COME ALIMENTI: OLTRE L'ORIGINALITÀ E LA MODA

La pratica di cibarsi di insetti ha recentemente destato un certo interesse nel grande pubblico. A questo hanno contribuito vari episodi riportati dai media, un numero sempre più consistente di iniziative volte a far conoscere questo tipo di alimento e la pubblicizzazione di proposte imprenditoriali provenienti da alcuni paesi della comunità europea che, in certi casi, coinvolgevano anche cuochi famosi, con dovizia di immagini più o meno allettanti.

Il fenomeno rischia però di apparire come un'originalità e una moda, destinate a scomparire entro breve tempo.

GLI INSETTI E LE LORO POTENZIALITÀ PER L'ALIMENTAZIONE UMANA

Gli insetti sono una classe di animali appartenente al raggruppamento degli Artropodi, molto vicini, dal punto di vista filogenetico, ai Crostacei. Questa classe rappresenta il più grande tra i raggruppamenti di viventi che popolano il nostro pianeta, annoverando circa un milione di specie descritte, pari ai cinque sesti dell'intero regno animale. Se solo pensiamo che un quarto delle specie conosciute sono costituite da Coleotteri capiamo che il nostro mondo è popolato per la maggior parte d'insetti.

Non conosciamo però tutte le specie di insetti e molte specie (alcune stime le fanno aggirare sui 4-5 milioni), principalmente a causa della deforestazione operata dall'uomo, si estinguono ancor prima di essere scoperte. Gli insetti non solo presentano una grande biodiversità ma anche dal

punto di vista della biomassa totale superano in grandezza quella degli animali vertebrati, soprattutto nelle regioni tropicali, e si trovano implicati in tutte le catene alimentari terrestri. Essi rappresentano una cospicua parte dell'alimentazione di molti animali che vengono utilizzati dall'uomo, e dell'uomo stesso, come è riportato da approfondimenti condotti dalla FAO in vari paesi emergenti e del terzo mondo.

Gli insetti sono molto comuni perché molto adattabili. Occupano tutti gli ambienti terrestri, vari ambienti d'acqua dolce e l'ambiente aereo; inoltre si adattano a tutte le temperature, da quelle dei poli a quelle dell'Equatore. Mangiano di tutto, dai funghi alla carne, dai detriti al legno, dalla stoffa alle piante. Le loro piccole dimensioni (da 0,2 a 120 mm), limitate da un efficiente sistema respiratorio, hanno determinato altri fattori di successo come l'occupazione di nicchie ecologiche circoscritte, il fabbisogno ridotto di cibo per ciascun individuo e la possibilità di costituire popolazioni numerose in piccoli habitat.

Il rivestimento esterno del corpo, una sorta di guscio rigido ricoperto di sostanze cerose chiamato esoscheletro, costituisce il più importante fattore di successo perché protegge dai danni meccanici limitando la perdita dei liquidi interni e rende gli insetti anche in grado di colonizzare ambienti molto aridi. Il "guscio" ostacola però l'accrescimento rendendo quindi necessario un periodico processo di sostituzione (la muta) che in certi casi culmina con una completa metamorfosi del corpo (ad esempio dal bruco-larva all'insetto maturo). Questo handicap, però, ha permesso a stadi di sviluppo diverso (giovani ed adulti) di occupare nicchie ecologiche separate non entrando in competizione tra loro.

Un altro fattore di successo degli insetti è il volo

perché permette di disperdersi, di sfuggire ai predatori terrestri e di cercare più velocemente il cibo e i compagni con cui accoppiarsi.

Fin dai tempi antichi la storia dell'uomo è collegata agli insetti sia nel bene che nel male. Essi competono con noi per le risorse alimentari (un esempio sono gli sciami di locuste che hanno causato varie carestie riportate nella Bibbia e nel Corano) e sono spesso vettori di malattie ed epidemie. La peste nera, causata da un batterio che è trasmesso all'uomo dalla pulce dei ratti, nel 14esimo secolo uccise un terzo della popolazione europea; mentre la malaria, trasmessa dalla zanzara *Anopheles*, oggi minaccia oltre il 40% della popolazione mondiale, soprattutto quella residente nei paesi tropicali.

Gli insetti però possono essere anche utili per l'uomo. Il rapporto più antico è quello con l'ape, di cui si trovano testimonianze nelle pitture rupestri risalenti al tardo paleolitico (ca. 15000 anni fa) ritrovate presso la *Cueva de la Araña* (Valencia; Spagna). La presenza dell'ape è anche testimoniata in molte civiltà antiche, quali ad esempio i Sumeri e gli Egizi. Un altro insetto che ha segnato la storia dell'uomo è il baco da seta (*Bombyx mori*) il cui allevamento è nato in Cina tra il 2500 e il 3000 a.C. Degli insetti noi utilizziamo alcuni prodotti: sono molto conosciuti quelli dell'ape, forse meno quelli della cocciniglia (*Dactylopius coccus*) (utilizzata come colorante rosso nel Campari, nel *sushimi* ect).

Secondo uno studio della FAO, realizzato in collaborazione con l'Università di Wageningen nei Paesi Bassi, nel mondo sono già oltre 1900 le specie di insetti di cui si cibano gli esseri umani. A livello globale, gli insetti più consumati sono: i Coleotteri (31%); i bruchi di farfalle (18%); api, vespe e formiche (14%); cavallette, locuste e grilli (13%).

In paesi come il Messico, varie nazioni del Centro Africa e del Sud Est Asiatico più di 300 specie sono incluse come cibo comune. In Sud Africa vengono usati molto i bruchi di farfalle (*Imbrasia belina*) detti bruchi del Mopane (alberi particolari caratteristici del sud dell'Africa) che sono cucinati in vari modi anche dopo essere stati essiccati. Un altro insetto che è molto impiegato come cibo, o meglio le sue larve che sono molto grosse, è il Punteruolo della palma, un coleottero che attacca le palme mangiandone l'interno (Sud Est Asiatico, Africa, America Latina, presente ora anche in Italia). Anche le cicale, le termiti, le cimici acquatiche e le cavallette (chiamate anche gamberetti di terra) vengono utilizzate nell'alimentazione umana. Si mangiano anche le api sia nello stadio di larve e pupe sia come adulti, avendo l'accortezza di togliere il pun-

giglione. Altri insetti molto utilizzati sono i coleotteri della farina. Non tutti sanno, poi, che in Sardegna esiste un formaggio particolare (*casumarzu*) che viene lasciato colonizzare dalle larve di una mosca (*Piophilina casei*).

Il consumo degli insetti per l'alimentazione umana e animale è ora vivamente incoraggiato dalla FAO, che ha promosso vari convegni sul tema e che stimola la ricerca dal punto di vista della regolamentazione delle leggi per l'allevamento e la consumazione a livello nazionale e internazionale. Nella prospettiva di una richiesta sempre maggiore di nuove fonti di cibo per sostenere la crescita della popolazione mondiale nei prossimi decenni, gli insetti possono quindi rappresentare una risposta adeguata sia come fonte di proteine animali per l'allevamento del bestiame, sia come alimentazione umana diretta, più facilmente accettabile da numerose popolazioni di paesi in via di sviluppo. La necessità di allevare su larga scala le specie di insetti più idonee a garantire un cibo sano, può inoltre favorire lo sviluppo di iniziative imprenditoriali di vario tipo ed è una proposta che acquista un'importanza particolare soprattutto nell'anno della grande esposizione milanese sull'alimentazione.

DA COSA NASCE QUESTO INCONTRO?

I Presidenti dell'Accademia Nazionale Italiana di Entomologia e della Società Entomologica Italiana, su nostra sollecitazione, hanno caldeggiato lo svolgimento di questo convegno. Queste due associazioni volte allo studio degli insetti, rappresentano infatti i riferimenti naturali a livello nazionale per indirizzare le ricerche scientifiche e gli approfondimenti indispensabili sulle numerose problematiche presentate da questo nuovo tipo di alimentazione e per sollecitare a livello politico la definizione di norme dirette alla regolamentazione delle iniziative imprenditoriali nella sicurezza sanitaria.

L'alimentazione basata sugli insetti utilizzati sia come mangime che come cibo implica il confronto e la risoluzione di problematiche di vario tipo (nutrizionali, sanitarie, legali, ecologiche ed economiche) che saranno prese in esame dai relatori dell'incontro.

Paul Vantomme, senior officer della FAO, sottolineerà l'urgenza di aumentare la produzione di cibo in modo sostenibile, cambiando drasticamente l'attuale sistema di produzione di proteine animali basato sull'allevamento industriale di bestiame, e ci mostrerà come gli insetti possono essere un'ottima fonte alimentare alternativa

sotto vari aspetti. Antonia Ricci, dell'Istituto Zooprofilattico delle Venezie di Padova, ci parlerà del complesso problema della sicurezza alimentare e degli aspetti normativi, che differiscono in modo significativo tra i vari paesi della comunità europea. Dopo una breve discussione, Roberto Valvassori dell'Università dell'Insubria, parlerà di alcune iniziative imprenditoriali che stanno cominciando a nascere nel nostro paese. Mario Colombo dell'Università di Milano e Silvia Cappelozza dell'Unità di ricerca di apicol-

tura e bachicoltura CRA-API di Padova tratteranno invece delle problematiche e delle prospettive legate all'allevamento anche su larga scala degli insetti. Con Morena Casartelli dell'Università di Milano verrà affrontato il tema degli insetti come biotrasformatori e della loro successiva utilizzazione nella produzione di mangimi. Infine, Annamaria Fausto dell'Università della Tuscia ci parlerà dei benefici e dei costi ambientali legati alla produzione massiva di insetti.

FARMING INSECTS AS A VIABLE AND GLOBAL SOURCE OF ANIMAL PROTEINS

PAUL VANTOMME (*)

(*) *Senior Officer, FAO; viale delle Terme di Caracalla, 00153 Roma, Italy; e-mail: Paul.Vantomme@fao.org*

Lettura tenuta durante la Seduta pubblica dell'Accademia Nazionale Italiana di Entomologia su "Gli Insetti: una risorsa sostenibile per l'alimentazione" - Firenze, 16 gennaio 2015.

Farming insects as a viable and global source of animal proteins

The promotion of insects as food for humans and as feed for livestock is being recognized now by a wide range of organizations, academics, private sector, the media and even by the Food and Agriculture Organization of the United Nations. This paper reviews some of the underlying forces in our global food security that are explaining the currently increasing acceptance in the western world of using insects as food and animal feed. Global food production will not be able to increase further if no radical new technological innovations in our food production systems are introduced as evidenced by some earlier made food production forecasts, such as the Report from the Club of Rome from 1972.

Global food production was estimated in 2012 at 8.4 billion tons. However, food also needs to be produced for approximately 1 billion pet animals as well as for the close to 100 billion farmed animals. To feed the world in 2014 required to dedicate 40% of world ice-free land surface to agriculture. 70% of total agriculture land use is for feeding our livestock, and some 30% of all grains produced are fed to farm animals. Agriculture consumed during 2014 some 70% of total fresh water use and is responsible for 14 to 17% of total GHG emissions.

A crucial factor for achieving global food security is the need to produce more animal proteins for a growing and wealthier population more efficiently and with a lower environmental impact than the present industrial scale animal farming systems. Farming insects on organic waste offers so far one of the most promising alternatives for animal protein sources.

Integrating edible insects as healthy food into the agenda and campaigns of food agencies will require a more comprehensive understanding on the nutritional and health values of more insect species. Further investigation is needed particularly of impacts on consumer's health, food safety, environmental impacts and risk assessments of using insects in the food chain. National and international poverty alleviation agencies and aid programs need to be made aware that gathering and farming insects is a viable option to help people improve their livelihoods. Legislators and policy makers are called on to deliberate and include insects as feed and food into existing national policy and legal frameworks covering the food, health and feed sectors.

KEY-WORDS: insects, food security, protein, poverty alleviation, feed, legislation

1. SETTING THE CONTEXT FOR ENTOMOPHAGY:

WHY ARE WE REVISITING IT NOW?

In 1885 British entomologist V.M. Holt published his booklet, *Why not eat Insects* to promote insects as food, and he received mainly laughter in response. Today, promoting insects as food for humans and for our animals alike is being endorsed by a wide range of organizations, academics, private sector, the media and even by the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO, 2013c). So what has changed during the past 130 years in our food producing systems and what are the underlying forces leading to the now successful backing of the use of insects as food and animal feed?

Global context and drivers in our food and animal feed supply.

a) Previous forecasts on food production

Since millennia people have struggled with the

challenge to produce enough food, be it at a local level for family survival, at the level of a county and since some decades now at the global level. Even the emperors of antique Rome knew all too well that when the food supply for the city was endangered, their job was at risk through popular upheaval. Recently, in the Near East during 2010-2012, food shortages and sharp price increases of bread for example caused serious civil unrest toppling even governments like in Egypt or in Tunisia.

An interesting forecast on the outlook of the global food availability was published in 1798 by Thomas Robert Malthus, with the title "*An Essay on the Principle of Population*". His summary statement was that "*the power of population growth is indefinitely greater than the power in the earth to produce subsistence for man*". At that time, world population was estimated to be around 1 billion.

In 1972, the CLUB OF ROME published its

famous report “*The limits to Growth*”. Their forecast was that per capita food production of the world would reach its maximum around 2010 to decline sharply after (see Fig. 1). Total world population in 1972 was around 4 billion.

When looking today at the forecasts from this report as shown in Fig. 1, several of them turned out quite differently than projected. It is remarkable, however, that the prediction of the “*food per capita*” indicator would peak around 2010 and sharply decline afterwards. This can be explained that global food production will not be able to increase if no radical new technological innovations in our food production systems are introduced.

b) Feeding the world in 2014

World population at the end of 2014 was estimated at some 7.2 billion people. Global food production was estimated by FAO at 8.4 billion tons in 2012. For example average capita availability for animal proteins like meat and fish was respectively 42 kg of meat and close to 20 Kg of fish (aqua products). However, food also needs to be produced for approximately 1 billion pet animals as well as for the close to 100 billion farmed animals! During 2014 some 20 billion chickens, 1.5 billion each for cattle and pigs, 1.2 billion ducks, 1.1 billion sheep, 1 b. goats, 0,8 b. rabbits were raised and fed. In addition an innumerable number of fish, shrimps, mollusks, and other aquatic animals were farmed to produce

an estimated 70 million tons of aquaculture food products.

Total feed production was estimated at some 6.4 billion tons dry matter (by the FAO Global livestock environmental assessment model, GLEAM, 2014). To feed the world in 2014 required to dedicate 40% of world ice-free land surface to agriculture (the remaining consists of: 30% forests; 25% deserts and mountains; and the rest of wetlands and urban areas). 70% of total agriculture land use is for feeding our livestock, and some 30% of all grains produced are fed to farm animals, with up to 50% for corn and up to 80% for soy. Agriculture consumed during 2014 some 70% of total fresh water use, dispersed in nature some 110 million tons of chemical fertilizer and 2.3 million tons of pesticides and is responsible for the production of 14 to 17% of total GHG emissions (pending the source).

While population doubled during the last 50 years, global agriculture output **tripled** with only 12% increase in farmed area. However, our use of fresh water is growing **twice** as fast as global population growth, and food losses and waste are estimated at 1.3 billion tons/year. Net food availability per capita stands now at approximately 1 ton/ person/ year.

c) The animal protein crunch

Per capita consumption of animal based products is spurred by population growth and by the increase of per capita income of a growing part

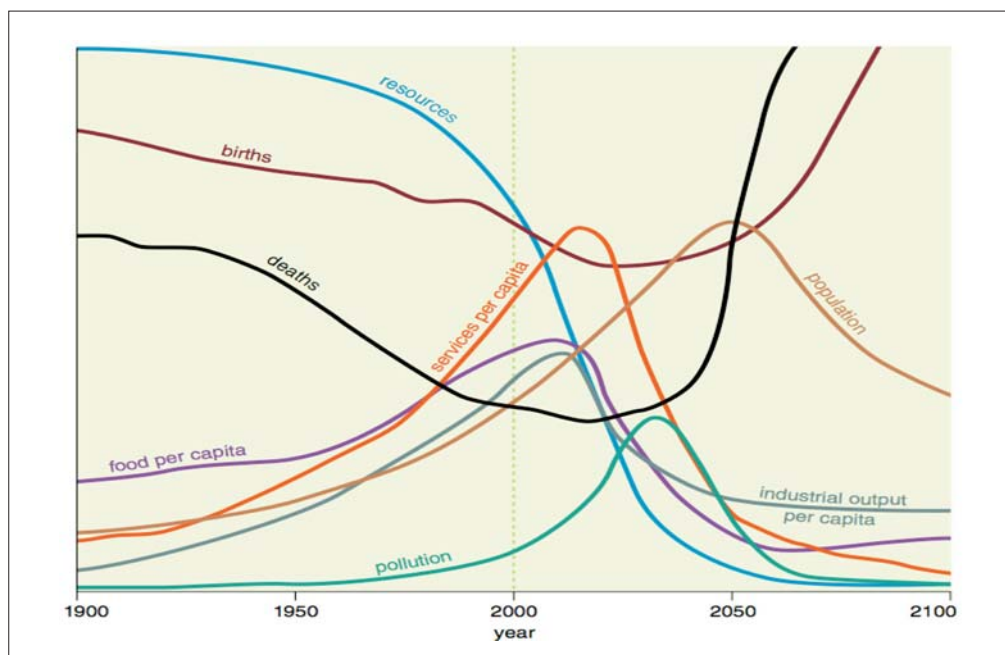


Fig. 1 – Forecasted global trends of key indicators. Taken from “*The limits to Growth*”, published by the Club of Rome (1972).

of the world's inhabitants. Per capita consumption of major food items in developing countries (1961-2005) shows the highest increases for eggs, meat and milk, while the consumption of carbohydrates like cereals or roots and tubers is stable or even declining (see Fig. 2).

A crucial factor for achieving global food security is the need to produce more animal proteins for a growing and wealthier population (DREW *et al.*, 2011). In addition, more proteins

will be needed to feed the growing number of farmed animals worldwide. Aquaculture and Poultry are by now the fastest growing livestock sectors with an annual growth of 7% over the last decades (see Fig. 3). Not only have chickens and fish much higher feed conversion factors as compared with pork or cattle, they also do grow faster! For example it takes now 12 weeks to fatten chickens as compared with 6 and 18 months for pigs and cows.

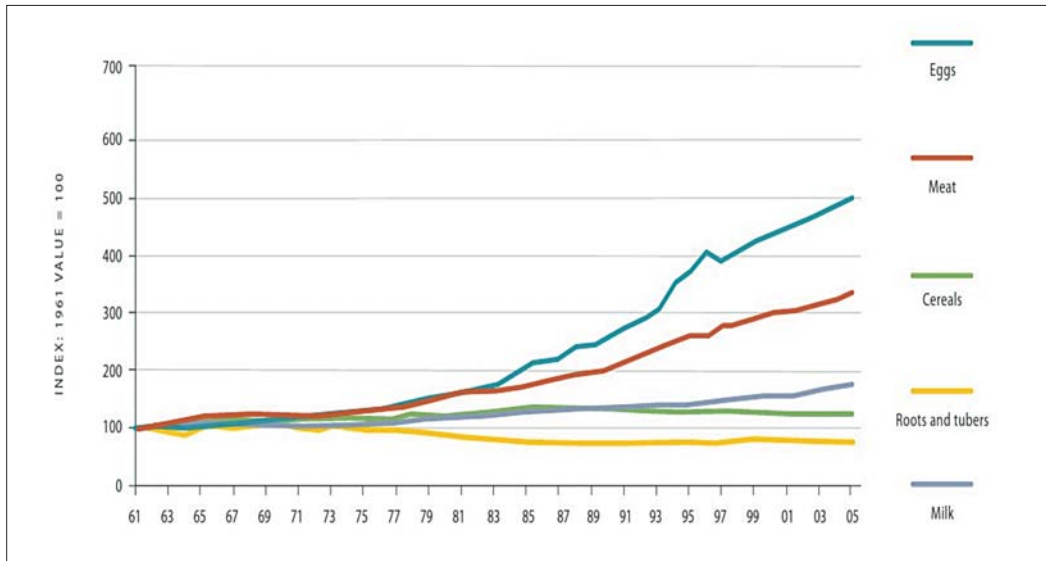


Fig. 2 – Per capita consumption of major food items in developing countries (1961-2005). Source FAOSTAT.

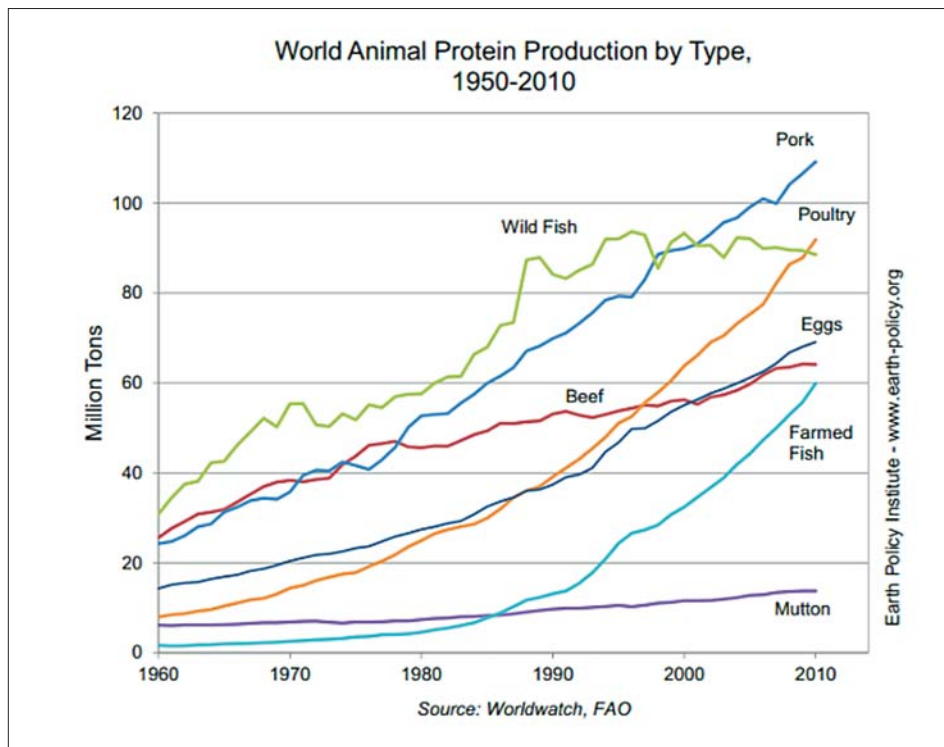


Fig. 3 – World animal protein production by type, 1960-2010.

A major challenge to safeguard future food security at the global level will be to produce more animal protein more efficiently and with a lower environmental impact than the present industrial scale animal farming systems.

Feeding our farmed animals during the year 2013, particularly those in intensive rearing systems, required some 795 million tonnes of cereals for use in compound feeds (IFIF,2014). This corresponds to almost 1/3 of global cereal production. By diverting such huge quantities of cereals for animal feed (mainly corn or soy but also wheat and barley), less is consequently available as food for humans. FAO predicts that by the year 2050 an additional 520 million tonnes of cereal production would be required to feed our animals; and which would correspond to almost half of the world's cereal production. In 2013 the monogastric sector (chickens, pigs, aquaculture) consumed 155 million tonnes of feed protein (mainly soy). By 2050, an additional 110 million tonnes of feed protein (50% from cereals/soy and rest from other protein sources) would be needed. Important to note that in 2013 some 110 million tonnes of coarse grains were used for the production of bioethanol and bio plastics resulting in a fierce competition for the use of coarse grains for food, feed and/or energy/bio materials.

2. PROTEIN ALTERNATIVES AND WHY INSECTS

By 2050, the key challenge will be to produce enough proteins to feed humans as well as livestock, and particularly to cope with the expected surge in demand for animal-derived proteins. In addition to improve the efficiency in production and use of the traditional vegetative protein sources (such as soy, beans, wheat germs,...) as well as further improving our existing livestock systems, a wide range of alternative protein sources is being investigated and for some already unfolding (OECD-FAO, 2010). These “*alternative or new*” protein sources can be summarized as follows:

- a) **Capture** more resources out of oceans: such as for example Medusae, jelly fish, krill, or other sea based organisms.
- b) **Farming** the sea: growing macro algae in shallow waters, which is very common in South-East Asia. In addition to farming micro algae in capital, energy and technology intensive systems such as for Spirula.
- c) **Artificial** proteins: for example artificial meat made from stem cells (120.000\$/kg), synthetic amino acids (6\$/kg)

- d) Recovering more proteins out of **Agro-industry processing** by-products: such as mais gluten, brewers and distillers grains, yeast production,...
- e) **Farming** less common plants rich in protein sources: such as oil seeds, legumes, forages, trees (for example Moringa, of which its leaves have a high protein content).

However, all these alternatives do in one way or another compete for land, water, fertilizers, and farm inputs with the traditional land-based protein sources, such as farming soy. Also, some of these alternatives, such as artificial proteins or even the farming of algae (particularly Spirula) can be very capital and technology intensive, and as such be out of reach for the poor. Nevertheless, some of these alternatives like growing macro-algae already do have market potential mainly at the regional level and for given food/feed niche markets.

Why insects?

Insects are an alternative and healthy food and feed source (BELLUCO *et al.*, 2013; RUMPOLD *et al.*, 2013) with a smaller environmental footprint than meat and insect rearing emits less greenhouse gases and ammonia compared to cattle and pig farming (OONINCX *et al.*, 2010) and requires less land (OONINCX and DE BOER, 2012). Rearing insects can also be done on organic waste streams, and as such, huge quantities of grains and soybeans presently used as animal feed could be made available for direct human consumption. Insect rearing can be done not only in large-scale producing units, but also on a small scale in the backyard. Setting up small cricket-rearing units is possible for even a single person, as well as in urban areas and with little investment. Rearing insects can help the poor to grow additional food and earn money by selling off excess production to local markets, and as such insect farming is socially more inclusive than cattle, pig or chicken farming.

The very fact that insect rearing can address environmental, socio-economic, and health concerns simultaneously makes insect farming for food and feed production an attractive and very timely option in our search for a more sustainable global food supply. As the global population increases coupled with the demand for more protein (FAO, 2013b), the pressure on producing these proteins with shrinking resources is growing (HEINRICH BÖLL FOUNDATION, 2014). The search for alternative and sustainable animal protein sources is more acute now than ever, and insects are a major component in that search. While insects as food may seem like some new high in protein ‘superfood’ for a growing but still quite limited number of ‘adventurous’ consumers in the

West (FELLOWS, 2014), insects are and have always been part of the traditional diets of approximately 2 billion people worldwide (FAO, 2013a; VAN HUIS, 2013). Some 2000 species of insects are referred to in literature as used for food (JONGEMA, 2012). In addition, insects are already consumed indirectly, as trace amounts of unwanted matter which end up in the food we eat (FDA, 2011). Insects are also part of the ‘natural’ diets of some animals we farm, such as free roaming chickens, pigs, and carnivore fish. The majority of insects consumed in developing countries today are harvested in nature from wild populations (FAO, 2012). Farming can be an option to help conserve wild populations from overharvesting (YEN, 2009). In the developed countries up to some 10 species of insects are farmed, mainly for pet food. Recently, a part of the production of some of these species is sold as food for humans in countries such as Thailand, China, South Africa, the Netherlands, Belgium, USA, and France.

Insects have a Feed Conversion efficiency 4x higher than for cattle, and have a fast breeding cycle (from days to 1 month) that does not require the use of administering antibiotics or other veterinary drugs so commonly applied in our intensive livestock production systems. Insect farming can be done anywhere in the world at all scales of production. It is a truly interdisciplinary activity, linking food-feed-health-waste disposal-climate change and has a huge global market potential.

3. THE ROLE OF THE FAO

What began in 2002 as a small effort in FAO’s Forestry Department (VANTOMME *et al.*, 2004) to recognize traditional livelihood practices and sustainably managed habitats is unfolding into a broad based effort to look into the multiple dimensions of insect gathering and rearing. A growing body of evidence has made it increasingly apparent that insects offer unique opportunities to serve as important sources of food and feed – with minimal environmental costs – but also to contribute to alleviating malnutrition and poverty in rural and urban areas worldwide (DURST *et al.*, 2010; FAO, 2012; FAO, 2014; HALLORAN *et al.*, 2014; VAN HUIS, 2013). The continuous support and guidance that FAO can provide to this fast emerging sector would be crucial.

The FAO has the required multidisciplinary expertise and mandates in the following key disciplines for promoting edible insects (EI) at the global level: conservation of natural resources and

forests, nutrition, animal husbandry, trade and market analyses, governance of legal and regulatory frameworks dealing with food and animal husbandry.

The world population is expected to increase to 9.3 billion by 2050 and most of the growth is in the developing countries, including those countries with entomophagy practices, which will further increase demand for insects. Urgent actions to preserve edible insect species in their natural habitat are needed. The FAO through its activities to promote more sustainable natural resources and forest management, as insects are frequently gathered in forests, is a key partner to help raising awareness on the contribution of EI to food security and better nutrition in its member countries through the following actions: elaborate nature conservation and forest management strategies that include managing edible insects’ species, just as done for wildlife and birds; introduce socially equitable access rights for local EI gatherers; develop harvesting regulation levels and techniques; develop and publicize semi-cultivation techniques; improve shelf life (processing and conservation techniques) and provide support to enhance EI value chains in developing countries; and promote EI as part of more sustainable farming techniques and agricultural extension programmes.

FAO plays a key role in information exchange and awareness raising on food and agriculture related issues globally through its publications, work programmes, field projects and through its communication with the media. FAO as the UN agency for food and agriculture is highly respected and FAO messages are widely accepted in the press globally. In particular, FAO’s communication facilities can be focused to further disseminate the following key message as to help advance consumer acceptability on EI in its member countries, i.e. that EI are a healthy food and good for diversification of diets.

FAO can assist its member countries by compiling and widely disseminating information on:

- (a) Nutritional composition tables of more insect species and by promoting similar methodologies among countries on EI nutritional compositions easily comparable with other main protein sources such as fish, chicken, pig, beans and pulses.;
- (b) Bio-availability of micronutrients: such as iron, zinc, and others, particularly because of the massive occurrence of these deficiencies in the tropics leading to stunted growth in children. This is very important in many developing

countries characterized by protein deficient diets and where for example mixing cassava meal with grinded insect powder could easily improve local diets;

- (c) Processing insect (extracts) into re-composed foods: extraction of protein and by-products such as fats, chitin, minerals, vitamins into burgers, spreads, energy bars, etc.; and
- (d) Support EI inclusive legal and regulatory frameworks, such as Novel Foods, Codex Alimentarius, Food safety standards and healthy food regulations. The FAO can help stakeholders through the identification and dissemination of best practices for farming insects, by supporting projects and research helping to reduce production costs as to make insect derived products competitive with the traditional animal protein sources such as chicken, fish or pig meat.

RIASSUNTO

ALLEVARE GLI INSETTI COME FONTE INNOVATIVA DI PROTEINE ANIMALI

La proposta di utilizzare gli insetti come cibo per l'uomo e come mangime per gli animali domestici è ormai accettata da un ampio numero di organizzazioni, di accademie, di settori di produzione privati, dai media e, infine, dalla Food and Agriculture Organization delle Nazioni Unite. Questo articolo presenta una rassegna delle principali motivazioni che stanno alla base del problema globale della sicurezza alimentare e che spiegano le ragioni del crescente consenso da parte del mondo occidentale sull'utilizzo degli insetti sia come cibo per l'uomo che come mangime per l'allevamento animale. La produzione globale di cibo, infatti, non può crescere ulteriormente se non viene introdotta una radicale innovazione tecnologica nell'attuale sistema di produzione di cibo, come già da tempo anticipato in alcune previsioni, quali quelle del Report del Club di Roma nel 1972.

La produzione globale di cibo nel 2012 è stata stimata a 8,4 miliardi di tonnellate. Peraltro, cibo deve essere prodotto anche per circa un miliardo di animali da compagnia e per quasi 100 miliardi di animali di allevamento. Nutrire il pianeta nel 2014 ha richiesto di utilizzare per l'agricoltura il 40% delle terre del globo libere da ghiaccio, e il 70% di queste sono state coltivate per nutrire gli animali in allevamento. Il 30% di tutto il grano prodotto è di fatto impiegato nell'allevamento animale. L'agricoltura, inoltre, ha consumato nel 2014 circa il 70% dell'acqua dolce disponibile ed è responsabile del 14 - 17% della produzione totale di gas serra.

Un fattore cruciale per il raggiungimento di una sicurezza alimentare globale è dato dalla necessità di produrre con più efficienza una quantità di proteine animali adeguata a sostenere una popolazione mondiale in crescita sana, con un impatto ambientale inferiore a quello dell'attuale produzione industriale di animali. La possibilità di allevare insetti sui rifiuti organici è attualmente l'alternativa più promettente per ottenere una nuova fonte di proteine animali.

L'introduzione degli insetti come cibo sicuro nell'agenda e nelle campagne promozionali delle agenzie per il cibo richiederà una più approfondita conoscenza del valore nutrizionale

e della sicurezza alimentare di un maggior numero di specie di insetti commestibili. In particolare, sono necessarie maggiori conoscenze riguardo al loro effetto sulla salute del consumatore, sulla sicurezza alimentare, sull'impatto ambientale e una corretta valutazione del rischio nell'introduzione degli insetti nella catena alimentare. Le agenzie nazionali e internazionali coinvolte nella gestione della povertà e dei programmi di aiuto dovranno essere informate che la raccolta e l'allevamento degli insetti è un'opzione percorribile per il miglioramento del tenore di vita delle popolazioni. I legislatori e i decisori politici sono ora chiamati a prendere posizione e a includere gli insetti come cibo e mangime nelle politiche nazionali e nel contesto legale che riguarda il cibo, la salute e l'uso di mangimi per animali.

REFERENCES

- BELLUCO S., LOSASSO C., MAGGIOLETTI M., ALONZI C.C., PAOLETTI M.G., RICCI, A., 2013 – *Edible insects in a food safety and nutritional perspective: a critical review*. - Comprehensive reviews in Food Science and Food Safety, vol.12, no. 3, pp. 296-313. DOI: 10.1111/1541-4337.12014
- CLUB OF ROME, 1972 – *The limits to Growth*. <http://www.clubofrome.org/?p=326> [7 May 2015]
- DREW J., LORIMER D., 2011 – *The Protein Crunch*. Print Matters Planet (Pty) Ltd, South Africa.
- DURST P.B., JOHNSON D.V., LESLIE R.N., SHONO K. (Eds.), 2010 – *Forest insects as food: humans bite back*. Proceedings of a workshop on Asia-Pacific resources and their potential for development. 19- 21 February 2008, Chiang Mai, Thailand. Food and Agriculture Organization of the United Nations RAP Publication 2010/02. Available at: <http://www.fao.org/docrep/012/i1380e/i1380e00.pdf>.
- FAO, 2014 – *Insects to feed the world*. Conference summary report. <http://www.fao.org/forestry/edibleinsects/86385/en/>
- FAO, 2013a – *The State of Food and Agriculture in the World: Food systems for better nutrition (SOFA 2013)*. - Food and Agriculture Organization of the United Nations. Available from: <<http://www.fao.org/docrep/018/i3300e/i3300e.pdf>> [7 May 2015]
- FAO, 2013b – *The state of food insecurity in the world: the multiple dimensions of food insecurity*. - Food and Agriculture Organization of the United Nations, Available from: <<http://www.fao.org/docrep/018/i3434e/i3434e00.htm>> [7 May 2015]
- FAO, 2013c – *The contribution of insects to food security, livelihoods and the environment*. - Food and Agriculture Organization of the United Nations, Available from: <<http://www.fao.org/docrep/018/i3264e/i3264e00.pdf>> [7 May 2015]
- FAO, 2012 January – *Expert consultation meeting on "Assessing the Potential of Insects as Food and Feed in Assuring Food Security"*. <http://foris.fao.org/preview/31654-08b9c12f60eda84d122b1ad454c381bb4.pdf>
- FDA, 2011– *Defect Levels Handbook. Levels of natural or unavoidable defects in foods that present no health hazards for humans*. - Food and Drug Administration of the United States of America, Available from: <<http://www.fda.gov/Food/GuidanceRegulation/GuidanceDocumentsRegulatoryInformation/SanitationTransportation/ucm056174.htm>> [7 May 2015]
- FELLOWS P., 2014 – *Insect products for high-value Western markets*. Food Chain Vol. 4 No. 2, 119-128, June 2014.

- Practical Action Publishing, UK. <http://dx.doi.org/10.3362/2046-1887.2014.012>
- GLEAM, 2014 – at: <http://www.slideshare.net/cgiarclimate/opio-global-livestock-enviro-assess-model-gleam-nov-12-2014> [7 May 2015]
- HALLORAN A., MUENKE C., VANTOMME P., VAN HUIS A., 2014 – *Insects in the human food chain: global status and opportunities*. Food Chain Vol. 4 No. 2, June 2014. Practical Action Publishing, UK. <http://dx.doi.org/10.3362/2046-1887.2014.011>
- HEINRICH BÖLL FOUNDATION, 2014 – *Meat Atlas, Facts and figures about the animals we eat*. Berlin, Germany. Available from: <http://www.boell.de/sites/default/files/meatatlas2014_2.pdf> [7 May 2015]
- IFIF, 2014, Annual Report 2013, at <http://www.ifif.org/>
- JONGEMA Y., 2012 – *List of edible insect species of the world*. Wageningen, Laboratory of Entomology, Wageningen University. Accessed from: <http://www.wageningenur.nl/en/Expertise-Services/Chair-groups/Plant-Sciences/Laboratory-of-Entomology/Edible-insects/Worldwide-species-list.htm/> [7 May 2015]
- OECD-FAO, 2010 – *Agricultural commodity markets outlook 2-11-2020*. OECD publishing. Available from: http://ec.europa.eu/agriculture/analysis/tradepol/worldmarkets/outlook/2011_2020_en.pdf [accessed 7 May 2015]
- OONINCX D.G.A.B., VAN ITTERBEECK J., HEETKAMP M.J.W., VAN DEN BRAND H., VAN LOON J.J.A., VAN HUIS A., 2010 – *An exploration on greenhouse gas and ammonia production by insect species suitable for animal or human consumption*. - Plos One, vol. 5, no.12, DOI:10.1371/journal.pone.0014445
- OONINCX D.G.A.B., DE BOER I.J.M., 2012 – *Environmental impact of the production of mealworms as a protein source for humans: a life cycle assessment*. - PLoS ONE, vol. 7, no.12 DOI:10.1371/journal.pone.0051145
- RUMPOLD B.A., SCHLÜTER O.K., 2013 – *Nutritional composition and safety aspects of edible insects*. - Molecular Nutrition and Food Research, vol. 57, no. 3, pp. 802-823. DOI: doi.10.1002/mnfr.201200735
- 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. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy. Available at: <http://www.fao.org/docrep/018/i3253e/i3253e.pdf>.
- VANTOMME P., GÖHLER D., N'DECKERE-ZIANGBA F., 2004 – *Contribution of Forest Insects to Food Security and Forest Conservation: The Example of Caterpillars in Central Africa*. - ODI Wildlife Policy Briefing, London: ODI.
- YEN A.L., 2009 – *Entomophagy and insect conservation: some thoughts for digestion*. - Journal of Insect Conservation, vol. 13, no. 6, pp. 667-670.

IL CONSUMO DI INSETTI DAL PUNTO DI VISTA DELLA SICUREZZA ALIMENTARE: INQUADRAMENTO NORMATIVO E VALUTAZIONE DEI RISCHI

SIMONE BELLUCO (* - **) - ALBERTO MANTOVANI (***) - ANTONIA RICCI (*)

(*) Istituto Zooprofilattico Sperimentale delle Venezie. Viale dell'Università 10, 35020 Legnaro (PD).

(**) Dipartimento di Medicina Animale, Produzioni e Salute, Università degli Studi di Padova. Viale dell'Università, 35020 Legnaro (PD).

(***) Istituto Superiore di Sanità (ISS). Viale Regina Elena 299, 00161, e-mail: aricci@izsvenezie.it

Letture tenuta durante la Seduta pubblica dell'Accademia Nazionale Italiana di Entomologia su "Gli Insetti: una risorsa sostenibile per l'alimentazione" - Firenze, 16 gennaio 2015.

Food safety aspects of edible insects: legislation and health

Edible insects represent a potential solution to the growing protein demand worldwide, as they are recognized as a nutritious and sustainable source of food. However, due to the scarcity of scientific evidences, their legal recognition as novel food in Europe encounters many obstacles. In particular, little attention has been posed to the risks deriving from human consumption. Edible species can harbor pathogenic bacteria and parasites, however specific data deriving from insect farming scenarios are needed to implement knowledge about biological hazards. Moreover appropriate processing techniques are required to guarantee consumer safety without impairing the nutritional content. Allergic reactions are described after insect consumption as they can cause cross reactions with known allergens like tropomyosin of crustaceans and house dust mite. Chemical hazards should not be overlooked as they represent a relevant concern especially in the absence of specific information. Important aspects like species selection, insect metabolism, bioaccumulation, potential treatments with antibiotics or other drugs should be studied and defined before claiming the safety of edible insects.

KEY WORDS: Entomophagy, risk, hazard, microbiology, toxicology.

INTRODUZIONE

Gli insetti rappresentano una valida fonte di proteine per l'alimentazione umana e sono pertanto annoverati tra le possibili soluzioni atte a soddisfare il crescente fabbisogno di proteine animali a livello mondiale, dovuto sia all'aumento demografico sia alla globalizzazione delle abitudini alimentari caratterizzata da un aumento del consumo e della richiesta di alimenti di origine animale nei paesi in via di sviluppo, soprattutto Asiatici.

L'entomofagia rappresenta una pratica già ampiamente diffusa sul nostro pianeta che interessa aree estese del pianeta e contribuisce fino al 50% dell'apporto proteico di alcune popolazioni; è importante sottolineare come in popolazioni asiatiche (Cina compresa), africane e dell'America Latina (ad es. Messico) l'entomofagia non è una *extrema ratio* dettata dalla scarsa disponibilità di alimenti, al contrario è una normale componente della cultura alimentare e gastronomica (PAOLETTI and DREON 2005). La sua riscoperta nel mondo occidentale ha catalizzato l'interesse di operatori economici, ricercatori e consumatori incentivando esperienze di consumo, produzione e vendita di alimenti a base

di insetti e stimolando una crescente produzione di lavori scientifici che stanno formando un consistente *corpus* di conoscenze.

Si contano numerose pubblicazioni atte a definire la composizione nutrizionale di specie commestibili di insetti da cui emergono dati interessanti per quanto riguarda il contenuto in proteine, in grassi insaturi e in altri micronutrienti essenziali (RUMPOLD and SCHUELTER, 2013). A queste si sommano i lavori volti ad esaltare la sostenibilità ambientale della produzione di insetti, apparentemente superiore a quella di altre specie comunemente allevate per il consumo umano (OONINCX and DE BOER 2012; OONINCX *et al.*, 2010), nonché numerosi studi sociali interessati ad indagare la percezione dei consumatori e il possibile impatto nel mercato (CAPARROS MEGIDO *et al.*, 2013; VERBEKE 2015).

In contrapposizione a questo scenario promettente e apparentemente risolutorio, troviamo una legislazione restia ad approvare *sine condicio* l'uso di insetti per l'alimentazione umana e ricercatori impegnati nell'indagare eventuali evidenze su possibili controindicazioni per la salute legate al consumo abituale di insetti da parte della popolazione. Infatti, l'entomofagia rientra a pieno nella defini-

zione di “nuovo alimento” (*novel food*). Se, tuttavia, si indaga sui potenziali pericoli degli insetti come fonte alimentare si scopre una certa limitatezza delle informazioni disponibili dovuta allo scarso interesse che questo argomento ha storicamente ricoperto nella comunità scientifica occidentale. Tale lacuna non è stata compensata dal recente exploit dell’entomofagia, probabilmente a causa della colpevole “dimenticanza” da parte degli *stakeholders*, interessati maggiormente all’indagine di aspetti produttivi, compositivi e commerciali.

Il già ampio consumo di insetti da parte di popolazioni residenti in Africa, America centrale e Meridionale, Asia e Australia, non è sufficiente a garantire la salubrità di tale pratica alimentare perché, come noto, il rischio derivante dal consumo degli alimenti dipende da numerose condizioni sia individuali (status immunitario, flora microbica, abitudini) che di abitudine (esposizione, modalità di preparazione). Inoltre, non risulta che siano stati effettuati studi sistematici sugli eventuali effetti avversi a breve o a lungo termine dell’entomofagia abituale nei paesi in via di sviluppo. Infine ciò che costituisce un rischio accettabile in alcune aree del pianeta può non essere considerato tale in altre come nel caso dei pesci appartenenti alla famiglia dei tetradontidae vietati nell’Unione Europea ma diffusi in Asia.

L’obiettivo di questa raccolta è quello di definire il tema dell’entomofagia da un punto di vista legislativo e descrivere le attuali problematiche relative ai pericoli (Biologici, Chimici, Allergenici) potenzialmente riscontrabili a seguito del consumo di insetti

LEGISLAZIONE EUROPEA

Il quadro normativo europeo riguardante la possibilità di commercializzazione degli insetti ad uso alimentare è piuttosto chiaro e vincolante. Gli insetti rientrano infatti nella definizione di *Novel Food* (Reg. 258/1997) che raccoglie tutti gli alimenti non consumati in misura significativa nell’Unione europea prima del 15 maggio 1997 (data di entrata in vigore del regolamento) e rientranti in una delle categorie definite dal regolamento stesso. Il campo di applicazione di questo dispositivo è sicuramente vasto se si pensa che alla data di entrata in vigore esso si applicava, tra gli altri, anche a OGM, alimenti da animali clonati e nanotecnologie. Nonostante gli obiettivi fossero probabilmente diversi, esso si trova a regolamentare anche i prodotti a base di insetti e ne ammette la commercializzazione solamente previa sottomissione di un dossier di sicurezza ai sensi della Raccomandazione 97/618/CE che contenga dati scientifici sufficienti a dimostrare la sicurezza degli

alimenti di cui si richiede l’autorizzazione, considerando eventuali gruppi maggiormente vulnerabili ai potenziali effetti avversi identificati. Tale dossier deve essere approvato dall’autorità nazionale competente e eventualmente dall’Authority Europea per la Sicurezza Alimentare (EFSA) (BELLUCO *et al.*, 2013).

Poiché i requisiti necessari al soddisfacimento del dossier sono numerosi e complessi (tra l’altro ogni specie di insetto o suo prodotto può essere identificato come un differente *novel food*), ad oggi nessuno ha affrontato in modo convinto questo percorso e si sono preferite strade alternative. Alcuni stati membri dell’UE hanno interpretato alla lettera il Reg. 258/1997 e hanno escluso dalla definizione di *Novel food* gli insetti interi ammettendone, a seguito di sommarie valutazioni del rischio, la distribuzione nel loro territorio di competenza (FASFC, 2014; Netherlands Food and Consumer Product safety authority, 2014). Altri stati hanno scelto approcci più cautelativi rimandando la decisione alle istituzioni europee le quali hanno chiesto parere formale ad EFSA circa i possibili rischi per la salute derivanti dal consumo di insetti. Una nuova versione del Reg. 258 è inoltre in fase di preparazione da molti anni ma non ancora approvata. Tale proposta prevederebbe l’inclusione certa degli insetti tra i *Novel Food* ma consentirebbe una procedura di autorizzazione più snella per i prodotti tradizionalmente consumati in paesi terzi. In tale contesto le esperienze di paesi tradizionalmente entomofagi sarebbero ammesse a sostegno della salubrità di nuovi alimenti, sempre previa un’appropriata valutazione scientifica della sicurezza.

PERICOLI BIOLOGICI

Le evidenze scientifiche disponibili riguardanti i pericoli biologici che possono essere associati al consumo di insetti provengono raramente da studi *ad hoc*. Molti dati derivano infatti dallo studio degli insetti come organismi vettori e considerano le specie che ecologicamente hanno più probabilità di ricoprire questo ruolo negli allevamenti. Tale ruolo è stato ampiamente descritto in letteratura (WALES *et al.*, 2010). Il ruolo degli artropodi (*Musca domestica* e *Alphitobius diaperinus*) come vettori di *Salmonella* e *Campylobacter* è, anche in questo caso, ampiamente dimostrato (AGABOU and ALLOUI, 2010; DAVIES and BRESLIN, 2003; GOODWIN and WALTMAN, 1996; HOLT *et al.*, 2007; STROTHER *et al.*, 2005; TEMPLETON *et al.*, 2006) e contempla anche sierotipi rilevanti per la salute pubblica come ad esempio *Salmonella* Enteritidis (LEFFER *et al.*, 2010). Alcuni autori, a seguito di studi in condizioni sperimentali, sugge-

riscono la possibilità che *Campylobacter* abbia una sopravvivenza limitata negli insetti (HAZELEGER *et al.*, 2008; STROTHER *et al.*, 2005; TEMPLETON *et al.*, 2006). Il coleottero *Alphitobius diaperinus* è in grado di eliminare *Salmonella* in media per otto giorni (intervallo 6-12 giorni) e il 95% delle larve mantengono il batterio anche durante la metamorfosi (CRIPPEN *et al.*, 2012). È possibile anche una trasmissione transovarica di batteri patogeni dagli insetti adulti alla loro progenie (DAVIES and BRESLIN, 2003).

La flora microbica degli insetti può essere composta da batteri appartenenti a diversi generi: *Staphylococcus*, *Streptococcus*, *Bacillus*, *Proteus*, *Pseudomonas*, *Escherichia*, *Micrococcus*, *Lactobacillus* and *Acinetobacter* (AGABOU and ALLOUI, 2010; AMADI *et al.*, 2005; BRAIDE *et al.*, 2011; GIACCONE, 2005). Nell'insetto fresco, allevato, (*Tenebrio molitor*, *Acheta domesticus* e *Brachytrupes* sp.) possono essere isolati batteri sporigeni ed Enterobacteriaceae (KLUNDER *et al.*, 2012).

Gli insetti possono essere soggetti ad una contaminazione rilevante non solo durante i loro stadi vitali ma anche nelle fasi successive all'allevamento che precedono il consumo. In Kenya il decesso di cinque individui fu ricondotto all'ingestione di termiti contaminate con *Clostridium botulinum* e conservate sottovuoto durante i quattro giorni di trasporto (NIGHTINGALE and AYIM, 1980). Il botulino è stato anche considerato come responsabile della morte di tre persone in Namibia a seguito di un pasto a base di bruchi (SCHABEL, 2010).

Alcuni dati provenienti dalla neonata filiera di produzione degli insetti, benché non ancora pubblicati, sono disponibili nelle valutazioni del rischio condotte dalle autorità competenti per la sicurezza alimentare di Belgio e Olanda (Scientific committee of the FAFSC, 2014; Netherlands Food and Consumer Product safety authority 2014).

Tali dati descrivono elevate cariche di batteri aerobi, anaerobi e di Enterobacteriaceae in tarme della farina (*Tenebrio molitor*), locuste (*Locusta migratoria*) e larve morio (*Zophobas atratus*).

I dati provenienti dalla valutazione del rischio Olandese riguardanti *Tenebrio molitor*, *Alphitobius diaperinus* e *Locusta migratoria* evidenziano una presenza di Enterobacteriaceae e batteri aerobi che supererebbe il criterio di accettabilità per le preparazioni di carni nella maggioranza dei campioni testati; per contro, un dato rassicurante è l'assenza di patogeni quali *Salmonella*, *Clostridium perfringens*, *Vibrio* ed una presenza di *Bacillus cereus* inferiore a 100 CFU/g nel 93% dei campioni testati.

Anche i parassiti rappresentano un possibile pericolo in relazione al consumo di insetti. L'importante ruolo di alcuni insetti come vettori biologici di infezioni protozoarie è noto nel caso della Tripanosomiasi

(malattia di Chagas) e recentemente la via di trasmissione orale è stata rivalutata a seguito di alcuni casi legati all'ingestione di alimenti contaminati da insetti (PEREIRA *et al.*, 2010). Gli insetti possono essere anche portatori di alcuni importanti patogeni di natura protozoaria come *Entamoeba histolytica*, *Giardia lamblia*, *Toxoplasma* spp. e *Sarcocystis* spp (GRACZYK *et al.*, 2005).

La possibile presenza di elminti parassiti come i trematodi *Lecitodendridi* e Plagiorchidi è stata ben documentata in una revisione della letteratura riguardante le parassitosi intestinali dell'Asia orientale (CHAI *et al.*, 2009).

Altro interessante esempio di parassita trasmissibile da insetto a uomo è rappresentato da *Dicrocoelium dendriticum*. L'infezione può essere dovuta all'ingestione di formiche parassitate, mentre la "pseudo-infezione" è data dall'ingestione del fegato di animali infetti. In un'area peri-urbana del Kirgizstan è stata riscontrata una prevalenza dell'8% anche se il test diagnostico utilizzato non era in grado di distinguere tra infezione e pseudo-infezione (JEANDRON *et al.*, 2011).

Casi sporadici di infestazione dal nematode *Gongylonema pulchrum* sono stati descritti nell'uomo con localizzazione sottocutanea, a seguito del consumo di insetti, in varie parti del mondo (MOLAVI *et al.*, 2006). Nell'uomo la localizzazione è sottocutanea a carico della cavità orale come ben descritto in letteratura (WILSON *et al.*, 2001).

Lieviti e funghi sono stati isolati in considerevoli quantità da insetti (edibili *Tenebrio molitor* e *Locusta migratoria*) freschi, liofilizzati ed essiccati (FAFSC, 2014).

Inoltre l'importanza di un'appropriata preparazione, manipolazione, essiccazione e conservazione è stata ulteriormente sottolineata da uno studio condotto in Botswana su alcuni lotti commerciali di mopane (*Gonimbrasia belina*: Saturniidae) (SCHABEL, 2010). Dalla stessa specie, essiccata in laboratorio, sono stati isolati alcuni funghi (*Aspergillus*, *Fusarium*, *Penicillium*) tra cui anche specie in grado di produrre micotossine (SIMPANYA *et al.*, 2000).

L'ebollizione degli insetti (*Tenebrio molitor*, *Acheta domesticus* and *Brachytrupes* sp.) per 5 minuti si è confermata come un trattamento efficiente per eliminare le *Enterobacteriaceae* ma non i batteri sporigeni: gli insetti bolliti costituiscono un prodotto da conservarsi a temperatura di refrigerazione (5-7°C) che si mantiene stabile per 2 settimane, diversamente dal prodotto fresco. Un altro studio ha mostrato che l'ebollizione a 100° per 8 minuti è stata in grado di ridurre la carica microbica totale e le *Enterobacteriaceae* a valori inferiori a 10 cfu/g (FAFSC, 2014).

L'arrostitimento da solo non si è dimostrato efficace

nell'eliminazione totale delle *Enterobacteriaceae*, quindi dovrebbe essere accoppiato ad un'ebollizione di qualche minuto (KLUNDER *et al.*, 2012)

Un altro studio condotto su *Tenebrio molitor* e *Locusta migratoria* ha dimostrato la capacità dell'essiccazione in forno (11 minuti a 90°) di ridurre la carica aerobica totale di 2-3 gradi logaritmici e la carica di *Enterobacteriaceae* di 3-5 gradi logaritmici.

Uno studio su 55 campioni di insetti liofilizzati ha evidenziato una carica aerobica totale maggiore di 10⁶ cfu/g nel 59% dei campioni e una carica di *Enterobacteriaceae* maggiore di 10³ cfu/g nel 65%. *Clostridium perfringens*, *Vibrio* e *Salmonella* non sono stati isolati e nel 93% dei casi *Bacillus cereus* è risultato inferiore a 100 cfu/g (Netherlands Food and Consumer Product safety authority, 2014).

La fermentazione si è dimostrata in grado di inattivare le *Enterobacteriaceae* e mantenere i batteri sporigeni residui stabili e a livelli accettabili (KLUNDER *et al.*, 2012).

Recentemente anche l'impatto di tecniche moderne quali il trattamento con plasma e le pressioni idrostatiche si sono dimostrate efficaci nella processazione di *Tenebrio molitor*.

L'associazione di alte pressioni idrostatiche (600 MPa) e alte temperature (90°) ha prodotto le conte batteriche inferiori (RUMPOLD *et al.*, 2014)

ALLERGIE

Diverse reazioni allergiche riconducibili al consumo di insetti sono state descritte in letteratura (BELLUCO *et al.*, 2013). In Cina si stima che circa 1000 persone manifestino ogni anno reazioni anafilattiche conseguenti l'ingestione di larve di *Bombyx mori* anche in soggetti che consumavano tali insetti per la prima volta (JI *et al.*, 2008). Inoltre casi di shock anafilattico sono descritti anche a seguito dell'ingestione di cavallette e grilli in Thailandia (PENER, 2014). La reattività crociata tra allergeni di origine diversa è stata descritta. La tropomiosina e l'arginina kinasi infatti rappresentano proteine altamente conservate a livello filogenetico in diverse classi di artropodi e possono essere responsabili di reazioni crociate a seguito dell'ingestione di insetti in persone allergiche a crostacei o acari della polvere (Der p 10) (LEUNG, *et al.*, 1996; LIU *et al.*, 2009; VERHOECKX *et al.*, 2014).

Altro interessante dato riguarda il rosso carminio (E120), colorante estratto dal corpo essiccato di insetti femmina (*Dactylopius coccus* Costa/*Coccus cacti* L.) e utilizzato nell'industria alimentare, che è stato riconosciuto come causa di reazione allergiche e shock anafilattico (DICELLO *et al.*, 1999; KAGI *et al.*, 1994).

PERICOLI CHIMICI

L'identificazione di potenziali rischi tossicologici per la valutazione e gestione del rischio degli insetti destinati a consumo umano deve prendere in considerazione diversi aspetti: la biologia della specie oggetto di interesse (ciclo vitale, metamorfosi, produzione endogena di sostanze velenose), le caratteristiche dell'allevamento e dei successivi processi produttivi.

Per quanto riguarda gli aspetti biologici, non è possibile prescindere dalla chiara identificazione della specie di interesse, né tantomeno pensare a caratteristiche comuni e facilmente trasponibili da una specie ad un'altra.

L'Autorità belga in un documento recente (2014) elenca 11 specie edibili presenti sul mercato belga (nel 2011), vale a dire, tre specie di grillo, due di cavallette, due di lepidotteri e quattro specie di larve della farina o tenebrioni (coleotteri): questo scenario, seppur limitato, mostra già una "biodiversità" paragonabile a quella delle specie di mammiferi normalmente consumati in Europa (FASFC, 2014) e non può risolversi nell'utilizzo di una categoria di identificazione delle dimensioni della classe Insecta. Infatti le grandi differenze di anatomia, metabolismo e alimentazione esistenti nelle specie di insetti sono potenzialmente rilevanti per la valutazione del rischio chimico; ad esempio, eventuali diversità nella capacità di accumulare e/o metabolizzare sostanze tossiche hanno un diretto rilievo per l'esposizione del consumatore. Inoltre, le specie di insetti edibili possono richiedere alimentazione e metodi di allevamento, un altro fattore che può influenzare l'esposizione a contaminanti. Oltre alle diverse specie devono essere considerati anche i diversi stadi del ciclo vitale (adulto, larva, uova) di interesse commerciale e alimentare. Le marcate differenze tra larve e adulti possono ripercuotersi negli aspetti di sicurezza alimentare, compresa la produzione di sostanze indesiderabili endogene (per esempio, allergeni) o la capacità di metabolizzare sostanze tossiche. Inoltre, come è noto, alcuni insetti possono produrre sostanze tossiche, prevalentemente a scopo difensivo, come acidi di carbonio, alcoli, aldeidi, fenoli. Queste sostanze, irritanti a livello locale, possono in alcuni casi avere una significativa tossicità sistemica, come nel caso di alcaloidi, steroidi o chinoni cancerogeni prodotti dai tenebrioni. Il caso dei chinoni sottolinea l'importanza dello stadio biologico, in quanto essi vengono prodotti solo dagli individui adulti, ma non dalle larve che spesso rappresentano lo stadio edibile.

Data l'attuale mancanza di "limiti di tolleranza" per l'assunzione orale di sostanze tossiche "endogene", le specie di insetti o gli stadi biologici che producono tali sostanze non dovrebbero, in linea di

principio, essere allevati per produrre alimenti o mangimi.

In alternativa, efficaci procedure di rimozione delle sostanze tossiche andrebbero validate e applicate di routine all'interno di un programma HACCP.

Oltre agli aspetti biologici, anche gli aspetti legati all'allevamento meritano un'attenta considerazione. Infatti, la rilevanza di sostanze esogene (pesticidi, inquinanti lipofili, altre sostanze bioaccumulabili, residui di farmaci) dipende dalle caratteristiche metaboliche dell'insetto allevato, ma anche dalle metodologie di allevamento.

La bioconcentrazione di elementi tossici, come il piombo e il cadmio, sembra il rischio tossicologico più evidente per la sicurezza degli insetti come alimenti o mangimi. Uno studio recente ha dimostrato il possibile bioaccumulo di metil-mercurio (MeHg) nelle libellule, con significative differenze tra le specie e gli stadi biologici oggetto di indagine, e una conseguente alta probabilità di trasferire notevoli quantità di MeHg ai loro predatori (BUCKLAND-NICKS *et al.*, 2014).

Il problema del bioaccumulo di elementi tossici può essere particolarmente evidente quando residui organici e materiali affini sono utilizzati per l'alimentazione degli insetti, magari con l'intento di aumentare la sostenibilità economica e ambientale dell'allevamento.

Sulla base dei dati disponibili, il bioaccumulo di elementi tossici può essere particolarmente elevato in alcuni tessuti (esoscheletro, sistemi riproduttivo e digestivo) e può variare in modo significativo con gli stadi biologici e le mute. Nel complesso, considerando la rilevanza per la sicurezza dei consumatori, la presenza di elementi tossici negli insetti edibili e nei loro prodotti è un aspetto di primaria importanza che deve essere approfondito con ulteriori ricerche.

Una questione correlata è rappresentata dal possibile accumulo, a partire da substrati alimentari, di alcuni elementi nutrizionalmente essenziali a dosi molto basse, ma che possono diventare tossici se assunti in dosi superiori (selenio, cobalto, molibdeno, etc.). Diversi studi ecotossicologici mostrano la capacità di alcuni insetti erbivori di accumulare elementi come rame, molibdeno e zinco (MANN, 2011). Per tali elementi sono già in vigore nell'UE livelli massimi autorizzati nei mangimi. Tuttavia, ulteriori ricerche sono necessarie per valutare l'appropriatezza dei livelli attuali anche per l'alimentazione degli insetti edibili.

Oltre al metilmercurio, anche altri inquinanti con notevole potenziale tossico, organostannici e composti perfluoroalchilici, possono concentrarsi in alcuni membri del Phylum Arthropoda, come i crostacei marini edibili. È importante verificare l'e-

ventuale presenza di tali composti, di elevata persistenza ambientale, anche in substrati o ambienti di allevamento per determinare la possibilità di concentrazione anche negli insetti.

Alcuni insetti edibili come le cavallette e i tenebrioni sono alimentati completamente o in parte con vegetali freschi. I residui di pesticidi, presenti in tali verdure entro i limiti massimi di residui stabiliti per i consumatori, potrebbero danneggiare la salute degli insetti allevati: la tossicità dei pesticidi per gli artropodi non bersaglio è stata recentemente considerata dall'EFSA, pur senza alcun riferimento specifico agli insetti edibili (EFSA, 2015). In esperimenti controllati, le larve di tenebrioni hanno mostrato uno scarso bioaccumulo del triazolo epossiconazolo (LV *et al.*, 2014) ma sono stati in grado di accumulare il fenilamide metalaxil (GAO *et al.*, 2013). Come nei vertebrati, il potenziale di bioaccumulo è in parte dovuto alle proprietà chimiche di un dato pesticida. Tuttavia, non ci sono informazioni sull'eventuale capacità di insetti edibili di bioaccumulare residui di pesticidi in scenari realistici. L'utilizzo di vegetali freschi può comportare inoltre l'esposizione a sostanze tossiche naturali di notevole importanza per la salute degli insetti, quali micotossine o alti livelli di sostanze bioattive vegetali (glucosinolati, isoflavoni, tannini).

Infine, il potenziale assorbimento di metalli tossici e di altri inquinanti da parte degli insetti attraverso l'ambiente di allevamento (polvere, lettiera) non sembra aver ricevuto alcuna attenzione: tuttavia esso rappresenta una problematica da approfondire.

Analogamente agli altri animali produttori di alimenti, anche gli insetti allevati possono richiedere trattamenti farmacologici per contrastare le possibili infezioni. Antibiotici, fungicidi e farmaci anti-protozoari, pertanto, potrebbero rappresentare possibili trattamenti da somministrare con il mangime, l'acqua e/o per nebulizzazione. Tuttavia, non vi sono dati per valutare le dosi massime di trattamento, i livelli massimi di residui e i tempi di sospensione. Infine, particolare importanza è rivestita dal tipo di prodotto che si vuole ottenere. Se si tratta di prodotti derivati (farine, estratti di proteine, grassi, etc), infatti, bisogna considerare il relativo bioaccumulo in relazione alle caratteristiche dello specifico prodotto. A titolo di esempio, se gli insetti potrebbero, di per sé, avere un modesto potere di bioaccumulo degli inquinanti lipofili (diossine, PCB, PBDE, etc.), tali concentrazioni, tuttavia, potrebbero aumentare notevolmente nei grassi estratti.

CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

L'identificazione dei pericoli presenti nelle specie di insetti potenzialmente edibili costituisce un ele-

mento fondamentale nella definizione del rischio associato al consumo di un nuovo alimento e rappresenta l'elemento base per la creazione di una filiera produttiva in grado di gestire efficacemente tali pericoli. La futura filiera derivante dal riconoscimento degli insetti come alimenti deve prevedere, in ogni sua fase, la necessità di prevenire – ove possibile – e controllare i pericoli identificati attraverso l'applicazione di misure utili alla riduzione del rischio per il consumatore finale e gestire in modo corretto il prodotto finito. Alcuni operatori ritengono che la sicurezza dell'alimento a base di insetti possa essere raggiunta con il ricorso a processi di produzione in grado di abbattere drasticamente la carica microbica. Questa possibilità, seppur realistica, ha diverse limitazioni. Non si conoscono ad oggi processi in grado di ridurre i pericoli chimici o associati ad allergeni che devono pertanto essere affrontati attraverso la conoscenza e selezione delle specie edibili e il controllo di mangimi e materie prime. I trattamenti intensivi possono avere controindicazioni, quali l'impatto sfavorevole sulle caratteristiche nutrizionali dell'alimento. Inoltre, i consumatori tendono a preferire alimenti poco processati, quindi la via del trattamento intensivo potrebbe riscontrare alcuni ostacoli commerciali.

Per concludere, è possibile fare alcune considerazioni utili per guidare lo sviluppo del settore alimentare tenendo conto delle esigenze di sicurezza dei nuovi alimenti definite dalla normativa europea, che non devono più essere viste come ostacoli da evitare, ma come strumenti utili alla produzione di alimenti di qualità.

Va tenuto conto della "biodiversità" esistente fra le specie di insetti edibili, ciascuna delle quali può meritare una considerazione specifica, analogamente ai mammiferi produttori di alimenti. Diverse specie di insetti (con le rispettive caratteristiche di alimentazione e allevamento) e diversi stadi biologici all'interno della stessa specie probabilmente richiedono specifici piani di autocontrollo in grado di identificare e gestire i rischi tossicologici e microbiologici. In particolare la biodisponibilità e il bioaccumulo di contaminanti e residui nelle principali specie di insetti edibili (e loro stadi biologici) rappresenta una critica lacuna conoscitiva. Il potenziale uso di farmaci, come gli antibiotici, durante le fasi di allevamento deve basarsi sulla definizione, ottenuta mediante dati scientifici, di dosi massime di trattamento, di livelli massimi di residui e di tempi di sospensione.

Il substrato di allevamento deve essere caratterizzato da un punto di vista chimico e microbiologico, al fine di prevedere il possibile trasferimento e accumulo di sostanze tossiche nonché la conta-

minazione microbiologica potenzialmente trasferibile agli insetti.

Occorre considerare la definizione di specifiche soglie tollerabili per inquinanti prioritari (ad es., alcuni elementi tossici) e i microrganismi patogeni o indicatori negli insetti edibili e loro prodotti, nonché nei mangimi destinati all'allevamento degli insetti. La definizione di tali livelli richiede studi mirati a rispondere ai requisiti della legislazione, specifiche disposizioni normative, nonché strumenti per la loro attuazione, ad esempio metodi analitici di riferimento validati.

RIASSUNTO

Gli insetti commestibili rappresentano una promettente fonte di proteine che potrebbe rappresentare una delle soluzioni alla crescente domanda di fonti alimentari alternative a livello globale.

Nonostante il consumo di insetti sia tradizionalmente praticato in vaste aree geografiche, esso rappresenta una novità per il mondo occidentale con notevoli difficoltà di inquadramento legislativo. Il riconoscimento ufficiale degli insetti come alimento per l'uomo non può prescindere dalla presenza di dati microbiologici e chimici che ne attestino la sicurezza per il consumatore.

Gli insetti possono essere contaminati con diverse tipologie di batteri e parassiti, anche di rilevanza clinica. Inoltre possono contenere e accumulare sostanze tossiche di natura endogena o esogena in grado di causare problemi nel consumatore, specie nei casi di ingestione di notevoli quantità o di consumo abituale.

La scarsità di dati derivanti da allevamenti di insetti, l'assenza totale di una filiera di produzione, le ridotte analisi chimiche su insetti allevati con diete diverse e i potenziali problemi derivanti dalla contaminazione ambientale con metalli e pesticidi e dai possibili trattamenti farmacologici in fase di allevamento, rendono necessari ulteriori dati ed un approccio cautelativo prima di poter definire gli insetti come alimento sicuro.

BIBLIOGRAFIA

- AGABOU A., ALLOUI N., 2010 – *Importance of Alphitobius diaperinus (Panzer) as a reservoir for pathogenic bacteria in Algerian broiler houses*. Veterinary World, 3 (2): 71-73.
- AMADI E.N., OGBALU O.K., BARIMALAA I.S., PIUS M., 2005 – *Microbiology and nutritional composition of an edible larva (Bunaea alcinoe Stoll) of the Niger Delta*. J. Food Safety, 25: 193-197.
- BELLUCO S., LOSASSO C., MAGGIOLETTI M., ALONZI C.C., PAOLETTI M.G., RICCI A., 2013 – *Edible insects in a food safety and nutritional perspective: a critical review*. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 12 (3): 296-313.
- BRAIDE W., ORANUSI S., UDEGBUNAM L.I., OGUOMA O., AKOBONDU C., 2011 – *Microbiological quality of an edible caterpillar of an emperor moth, Bunaea alcinoe*. J. Ecol. Nat. Environ. 3: 176-180.
- BUCKLAND-NICKS A., HILLIER K.N., AVERY T.S., O'DRISCOLL N. J., 2014 – *Mercury bioaccumulation in*

- dragonflies (*Odonata: Anisoptera*): examination of life stages and body regions. *Environmental toxicology and chemistry / SETAC*, 33(9), 2047-54. doi:10.1002/etc.2653
- CAPARROS MEGIDO R., SABLON L., GEUENS M., BROSTAUX Y., ALABI T., BLECKER C., ET AL., 2013 – *Edible Insects Acceptance by Belgian Consumers: Promising Attitude for Entomophagy Development*. *Journal of Sensory Studies*, n/a–n/a. doi:10.1111/joss.12077
- CHAI, J.Y., SHIN E. H., LEE S. H., RIM H. J., 2009 – *Foodborne intestinal flukes in Southeast Asia*. *The Korean journal of parasitology*, 47 Suppl, S69–102. doi:10.3347/kjp.2009.47.S.S69
- CRIPPEN T.L., ZHENG L., SHEFFIELD, C.L., TOMBERLIN, J.K., BEIER, R.C., YU Z., 2012 – *Transient gut retention and persistence of Salmonella through metamorphosis in the lesser mealworm, Alphitobius diaperinus (Coleoptera: Tenebrionidae)*. *Journal of applied microbiology*, 112(5): 920-6. doi:10.1111/j.1365-2672.2012.05265.x
- DAVIES R.H., BRESLIN M., 2003 – *Persistence of Salmonella Enteritidis Phage Type 4 in the environment and arthropod vectors on an empty free-range chicken farm*. *Environmental Microbiol.*, 5: 79-84.
- DICELLO M.C., MYC A., BAKER JR J.R., BALDWIN, J.L., 1999 – *Anaphylaxis after ingestion of carmine colored foods: two case reports and a review of the literature*. *Allergy and Asthma Proceedings: The Official Journal of Regional and State Allergy Societies*, 20 (6): 377-382.
- EFSA, 2015 – *Scientific Opinion addressing the state of the science on risk assessment of plant protection products for non-target arthropods*. *EFSA Journal*, 13(2): 3996.
- FASFC, 2014 – *Circular concerning the breeding and marketing of insects and insect-based food for human consumption*. PCCB/S3/ENE/KBE/1158552.
- GAO Y., CHEN J., WANG H., LIU C., LV X., LI J., GUO B., 2013 – *Enantiomerization and enantioselective bioaccumulation of benalaxyl in Tenebrio molitor larvae from wheat bran*. *Journal of agricultural and food chemistry*. *J. Agric. Food Chem.*, 61(38): 9045-51. doi:10.1021/jf4020125
- GIACCONE, V., 2005 – *Hygiene and health features of Minilivestock*. In M.G. Paoletti (Ed.), *Ecological implications of minilivestock: role of rodents, frogs, snails and insects for sustainable development* (pp. 579-598). Science Publisher.
- GOODWIN M.A., WALTMAN W.D., 1996 – *Transmission of Eimeria, Viruses, and Bacteria to Chicks: Darkling Beetles (Alphitobius diaperinus) as Vectors of Pathogens*. *The Journal of Applied Poultry Research*, 5(1): 51-55.
- GRACZYK T.K., KNIGHT R., TAMANG L., 2005 – *Mechanical transmission of human protozoan parasites by insects*. *Clinical microbiology reviews*, 18(1): 128-132. doi:10.1128/CMR.18.1.128-132.2005
- HAZELEGER, W.C., BOLDER, N.M., BEUMER, R.R., & JACOBS-REITSMA, W.F., 2008) – *Darkling beetles (Alphitobius diaperinus) and their larvae as potential vectors for the transfer of Campylobacter jejuni and Salmonella enterica serovar paratyphi B variant Java between successive broiler flocks*. *Applied and Environmental Microbiology*, 74(22): 6887-6891. doi:10.1128/AEM.00451-08
- HOLT P.S., GEDEN, C.J., MOORE R.W., GAST R.K., 2007 – *Isolation of Salmonella enterica serovar Enteritidis from houseflies (Musca domestica) found in rooms containing Salmonella serovar Enteritidis-challenged hens*. *Applied and environmental microbiology*, 73(19): 6030-5. doi:10.1128/AEM.00803-07
- JEANDRON A., RINALDI L., ABDYLDALIEVA G., USUBALIEVA J., STEINMANN P., CRINGOLI G., UTZINGER J., 2011 – *Human Infections with Dicrocoelium dendriticum in Kyrgyzstan: The Tip of the Iceberg?* *Journal of Parasitology*, 97(6), 1170–1172. doi:10.1645/GE-2828.1
- Ji K.M., ZHAN Z.K., CHEN J.J., LIU, Z.G., 2008 – *Anaphylactic shock caused by silkworm pupa consumption in China*. *Allergy*, 63(10), 1407-1408. doi:10.1111/j.1398-9995.2008.01838.x
- KAGI M.K., WUTHRICH B., JOHANSSON S.G., 1994 – *Campari-Orange anaphylaxis due to carmine allergy*. *Lancet*, 344(8914): 60-61.
- 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. doi:10.1016/j.foodcont.2012.02.013
- LEFFER A.F., KUTTEL J., MARTINS L.M., PEDROSO A.C., ASTOLFI-FERREIRA C.S., FERREIRA F., FERREIRA A.J.P., 2010 – *Vectorial Competence of Larvae and Adults of Alphitobius diaperinus in the Transmission of Salmonella Enteritidis in Poultry*. *Vector Borne Zoonotic Dis.* 10(5): 481-488.
- LEUNG P.S., CHOW W.K., DUFFEY S., KWAN H.S., GERSHWIN M.E., CHU K.H., 1996 – *IgE reactivity against a cross-reactive allergen in crustacea and mollusca: evidence for tropomyosin as the common allergen*. *The Journal of allergy and clinical immunology*, 98(5 Pt 1): 954-961.
- LIU Z., XIA L., WU Y., XIA Q., CHEN J., ROUXK.H., 2009 – *Identification and characterization of an arginine kinase as a major allergen from silkworm (Bombyx mori) larvae*. *International archives of allergy and immunology*, 150(1): 8-14. doi:10.1159/000210375
- LV X., LIU C., LI Y., GAO Y., WANG H., LI J., GUO B., 2014 – *Stereoselectivity in bioaccumulation and excretion of epoxiconazole by mealworm beetle (Tenebrio molitor) larvae. ... and environmental safety*. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0147651314000815>. Accessed 7 May 2015
- MANN R., 2011 – *Metals and metalloids in terrestrial systems: Bioaccumulation, biomagnification and subsequent adverse effects. ... Impacts of Toxic Chemicals*.
- MOLAVI G.H., MASSOUD J., GUTIERREZ Y. 2006 – *Human Gongylonema infection in Iran*. *Journal of helminthology*, 80(4): 425-428.
- NETHERLANDS FOOD AND CONSUMER PRODUCT SAFETY AUTHORITY, 2014 – *Advisory report on the risks associated with the consumption of mass-reared insects*.
- NIGHTINGALE K., AYIM E., 1980 – *Outbreak of botulism in Kenya after ingestion of white ants*. *BMJ*. <http://www.bmj.com/content/bmj/281/6256/1682.2.full.pdf>. Accessed 13 February 2015
- OONINCX D.G., DE BOER I.J., 2012 – *Environmental impact of the production of mealworms as a protein source for humans - a life cycle assessment*. *PloS one*, 7(12): e51145. doi:10.1371/journal.pone.0051145; 10.1371/journal.pone.0051145
- OONINCX D.G., VAN IJTERBEECK J., HEETKAMP M.J., VAN DEN BRAND H., VAN LOON J.J., VAN HUIS A., 2010 – *An exploration on greenhouse gas and ammonia production by insect species suitable for animal or human consumption*. *PloS one*, 5(12): e14445. doi:10.1371/journal.pone.0014445
- PAOLETTI M.G., DREON A., 2005 – *Minilivestock environment, sustainability, and local knowledge disappearance*. In: M.G. Paoletti (Ed.), *Ecological implication of Minilivestock: role of rodents, frogs, snails and insects*

- for sustainable development (pp. 1-18). Science Publisher.
- PENER M.P., 2014 – *Allergy to Locusts and Acridid Grasshoppers: a Review*. Journal of Orthoptera Research, 23(1), 59-67. doi:10.1665/034.023.0105
- RUMPOLD B.A., SCHLUETER O.K., 2013 – *Nutritional composition and safety aspects of edible insects*. Molecular Nutrition & Food Research, 57(5): 802–823. doi:10.1002/mnfr.201200735
- RUMPOLD B.A., FRÖHLING A., REINEKE K., KNORR D., BOGUSLAWSKI S., EHLBECK J., SCHLÜTER O., 2014 – *Comparison of volumetric and surface decontamination techniques for innovative processing of mealworm larvae (Tenebrio molitor)*. Innovative Food Science & Emerging Technologies.
- SCHABEL H.G., 2010 – *Forests insects as food: a global review*. In: P.B. Durst, D.V. Johnson, R.N. Leslie, K. Shono (Eds.), Forest insects as food: humans bite back Proceedings of a workshop on Asia-Pacific resources and their potential for development (pp. 3764). Bangkok, Thailand.
- SCIENTIFIC COMMITTEE OF THE FEDERAL AGENCY FOR THE SAFETY OF THE FOOD CHAIN, 2014 – *Food safety aspects of insects intended for human consumption (Sci Com dossier 2014/04; SHC dossier n° 9160)*.
- SIMPANYA M.F., ALLOTEY J., MPUCHANE S.F., 2000 – *A Mycological Investigation of Phane, an Edible Caterpillar of an Emperor Moth, Imbrasia belina*. Journal of food protection, 1. <http://www.ingentaconnect.com/content/iafp/jfp/2000/00000063/00000001/art00024?token=00571e979f3724ea20e1f66720297d76345f7b3a2b5f7a403838386b6d3f6a4b6e4e395e4e6b6331c1d28be>. Accessed 13 February 2015
- STROTHER K.O., STEELMAN C.D., GBUR E.E., 2005 – *Reservoir competence of lesser mealworm (Coleoptera: Tenebrionidae) for Campylobacter jejuni (Campylobacterales: Campylobacteraceae)*. Journal of medical entomology, 42(1): 42-7. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15691007>. Accessed 10 February 2015
- TEMPLETON J.M., DE JONG A.J., BLACKALL P.J., MIFLIN J.K., 2006 – *Survival of Campylobacter spp. in darkling beetles (Alphitobius diaperinus) and their larvae in Australia*. Applied and Environmental Microbiology, 72(12), 7909-7911. doi:10.1128/AEM.01471-06
- VERBEKE W., 2015 – *Profiling consumers who are ready to adopt insects as a meat substitute in a Western society*. Food Quality and Preference, 39(0): 147-155.
- VERHOECKX K.C.M., VAN BROEKHOVEN S., DEN HARTOG-JAGER C. F., GASPARI M., DE JONG, G.A.H., WICHERS H.J., et al., 2014 – *House dust mite (Der p 10) and crustacean allergic patients may react to food containing Yellow mealworm proteins*. Food and Chemical Toxicology, 65, 364-373. doi:10.1016/j.fct.2013.12.049
- WALES A.D., CARRIQUE-MAS J.J., RANKIN M., BELL B., THIND B.B., DAVIES R.H., 2010 – *Review of the carriage of zoonotic bacteria by arthropods, with special reference to Salmonella in mites, flies and litter beetles*. Zoonoses and public health, 57(5): 299-314. doi:10.1111/j.1863-2378.2008.01222.x
- WILSON M.E., LORENTE C.A., ALLEN J.E., EBERHARD M.L., 2001 – *Gongylonema infection of the mouth in a resident of Cambridge, Massachusetts*. Clinical infectious diseases: an official publication of the Infectious Diseases Society of America, 32(9): 1378-1380. doi:10.1086/319991

GLI INSETTI: UNA RISORSA SOSTENIBILE PER L'ALIMENTAZIONE. LE INIZIATIVE IN ITALIA

ROBERTO VALVASSORI (*)

(*) *Dipartimento di Biotecnologie e Scienze della Vita, Università degli Studi dell'Insubria, via Dunant 3, 21100 Varese, Italy; e-mail: roberto.valvassori@uninsubria.it*
Lettura tenuta durante la Seduta pubblica dell'Accademia Nazionale Italiana di Entomologia su "Gli Insetti: una risorsa sostenibile per l'alimentazione" - Firenze, 16 gennaio 2015.

Edible insects: state of the art in Italy

The general interest for edible insects has rapidly increased in the last decade. Research groups, academic lectures and private enterprises are now active in Italy in this new field. A survey of the various activities is briefly summarized.

KEY WORDS: Edible insects, research projects, company activities, scientific network.

È arduo fare previsioni, specialmente per quanto riguarda il futuro

YOGI BERRA

Alessandro Canestrini, naturalista trentino inizia così l'articolo 'Menu' d'insetti che viene pubblicato nel luglio del 1905 su La Lettura, Rivista mensile del Corriere della Sera.

«Non è stata certo qualche raffinatezza gastronomica, né l'idea che tutti gli animali siano stati creati a vantaggio dell'uomo, il motivo per il quale molti popoli incominciarono a cibarsi d'insetti.

E se l'insaziabile smania di nuovi eccitanti poté trarre delle nazioni incivilite a preferire la selvaggina putrefatta, ed il formaggio convertito in una metropoli di bacherozzoli, la fame impellente e la scarsità del cibo sono stati di certo i primi fattori per i quali parecchi insetti figurano tra i commestibili».

Al di là di questo e di pochi altri esempi simili in Italia, l'attenzione del grande pubblico sull'argomento degli insetti commestibili è sempre stata molto modesta e limitata ai resoconti di viaggi in paesi lontani con culture gastronomiche esotiche e curiose.

Anche nella comunità scientifica nazionale l'argomento dell'entomofagia è stato quasi del tutto trascurato fatta eccezione per i lavori di tipo etnobiologico dell'ecologo Maurizio Paoletti dell'Università di Padova, che sin dagli anni '90 sottolinea come gli insetti siano una tradizione ali-

mentare, in particolare in aree tropicali, e evidenzia la presenza e il ruolo delle chitinasi nell'intestino umano. Anche altri ricercatori di area padovana fra i quali Silvia Cappellozza (CRA) si sono, più recentemente, occupati di vari altri aspetti legati all'impiego di insetti per la produzione di alimenti.

Questo interesse così limitato e circoscritto è ben fotografato dalla sparuta partecipazione di italiani al Technical consultation meeting "Assessing the Potential of Insects as Food and Feed in assuring Food Security" (1) organizzato a Roma nel gennaio del 2012 su iniziativa della Food and Agriculture Organization delle Nazioni Unite. La FAO aveva da qualche tempo dato il via ad una serie di iniziative promozionali sul tema in considerazione della impellente necessità di individuare e promuovere vie alternative e sistemi innovativi per affrontare il problema di come poter garantire un'alimentazione sufficiente e dotata delle necessarie garanzie di sicurezza e salubrità ad una popolazione mondiale in rapida crescita. A questo meeting parteciparono solo Maurizio Paoletti, professore di ecologia a Padova, Silvia Cappellozza, esperta di bachicoltura del Consiglio per la Ricerca in Agricoltura e l'Analisi dell'Economia Agraria di Padova e Giulia Tacchini, neo laureata della Facoltà di Disegno industriale del Politecnico di Milano.

Fra gli obiettivi del meeting, oltre a quello di migliorare ed incrementare le strategie comunicative sull'importanza e l'attualità dell'entomofagia, vi era anche quello di pianificare l'organizzazione

di una prima Conferenza internazionale sugli insetti commestibili.

Nel giro di poco tempo, a seguito di sollecitazioni concomitanti e sinergiche (grazie ad incontri e dibattiti di divulgazione, iniziative didattiche in ambito universitario, e vari eventi gastronomici organizzati anche da chef di grido) si è attivata, con una crescente copertura mediatica, l'attenzione del grande pubblico. Ad oggi sarebbe troppo lungo elencare l'ampia serie di iniziative che, in particolare negli ultimi tempi, sono state realizzate e quindi mi limito a ricordare alcuni esempi fra le attività divulgative o didattiche che hanno visto protagonisti il Museo Civico di Scienze Naturali di Bergamo, con l'organizzazione di serate di discussione con dimostrazione di varie preparazione di cibi a base di insetti (a partire dal 2007), l'Università dell'Insubria con un ciclo di seminari "*Entomofagia: il futuro ha sei zampe*" per dottorandi in discipline biologiche e mediche (aprile 2013), l'Università della Tuscia con alcune attività didattiche sull'Entomofagia per studenti di corsi di laurea (novembre 2013), l'Università di Firenze Caffè-Scienza SMS Riforma incontro dibattito su "*Cosa bollirà in pentola domani? Insetti per l'alimentazione*" (gennaio 2014), l'Università Cattolica di Piacenza CaffExpo incontro dibattito su "*A tavola con gli Insetti*" (gennaio 2014).

Come risultato di studi universitari, sono state prodotte la Tesi di laurea di Simone Belluco – Facoltà di Medicina Veterinaria – Università di Padova nell'a.a. 2008/09 e la Tesi di laurea di Giulia Tacchini- Facoltà di Disegno Industriale – Politecnico di Milano nell' a.a. 2010/11.

Anche sul versante della ristorazione sono stati numerosi gli eventi gastronomici o dimostrazioni di qualche chef stellato che si è cimentato con questo nuovo ingrediente. Tutte queste esperienze hanno tuttavia avuto solo carattere episodico per le difficoltà e gli ostacoli legati a una normativa in merito del tutto assente, che ha rappresentato e ancora rappresenta una insormontabile barriera.

Nel mondo accademico e della ricerca italiana, nel giro di pochi anni, si sono palesati nuovi interessi oppure convergenze su questo promettente settore, di persistenti linee di ricerca affini. Prova evidente di questa apertura verso il nuovo ambito di interesse sta nel fatto che la prima conferenza internazionale su "Insects to feed the world" (2) tenutasi a Wageningen in Olanda nel maggio del 2014 ha visto la presenza di una ventina di italiani tra biologi, entomologi ed esperti di zoocolture oltre ad alcuni piccoli imprenditori, tra i quattrocento partecipanti provenienti da tutto il mondo.

L'uso degli insetti nella produzione di alimenti in

genere e più specificamente l'entomofagia in senso stretto hanno ormai raggiunto un livello di grande attualità e prova ne è la nascita di siti web di informazione e di divulgazione nonché di varie piccole attività imprenditoriali. Non potendo anche in questo caso farne una elencazione puntuale, cito a titolo di esempio solo alcune delle iniziative:

- **Diptera e Smartbugs** La prima iniziativa è situata nel foggiano (3) e la seconda nel trevigiano (4). Cito entrambe come esempio di aziende per la produzione di insetti destinati all'alimentazione di animali d'affezione, mercato di nicchia ma di sicuro interesse, o per l'acquacoltura e l'avicoltura, settori ancor più interessanti che avranno maggiore successo non appena il quadro normativo a riguardo consentirà un sicuro e diffuso utilizzo degli insetti o dei loro derivati.
- **Biosistemi Srls** è un'azienda che utilizza l'allevamento di insetti saprofiti per il trattamento di rifiuti organici urbani da raccolta differenziata (5).
- **Italbugs** (6) e **Entonote** (7) sono un esempio di siti web che forniscono informazioni e aggiornamenti su iniziative di divulgazione e di promozione del consumo degli insetti commestibili.

Anche la grande industria alimentare ha iniziato a considerare l'entomofagia come di interesse potenziale e, non a caso, nei primi mesi di quest'anno si è chiuso il contest "*Good4 our Planet – Start up the future (soluzioni innovative per la sostenibilità del Pianeta)*" che la Barilla ha promosso, in collaborazione con Sda Bocconi e l'incubatore SpeedMiUp. In questo contest è stato selezionato come finalista il progetto "*addENTO-enjoy the food revolution*" (8) proposto da tre giovani milanesi con l'obiettivo di proporre in maniera accattivante cibi confezionati a base di farina di insetti.

Nell'ambito della ricerca, qualche segnale di attenzione si è manifestato di recente con il finanziamento di alcuni progetti relativi allo sfruttamento degli insetti per scopi alimentari e che vedono il coinvolgimento di più gruppi di ricerca con competenze multidisciplinari.

Enti pubblici e privati o fondazioni hanno sostenuto:

- **PROINSECTLIFE** (Preliminary evaluation of the nutritive value of insect meal for European Sea Bass) Coordinatore: Università degli Studi di Torino, 2013, ente finanziatore: programma Aquaexcel - FP7 program.
- **PIAS** (Impiego di farine di *Tenebrio molitor* (TM) nell'alimentazione delle specie avicole) Coordinatore: Università degli Studi di Torino, 2013, ente finanziatore: Programma di Sviluppo Rurale 2007-2013, Regione Piemonte.

- **INDIFI** (Evaluation of apparent digestibility coefficients of different dietary inclusion levels of insect meal for European Sea bass) Coordinatore: Università degli Studi di Napoli Federico II, 2014, ente finanziatore: programma Aquaexcel - FP7 program.
- **INBIOPROFEED** (Insect Bioconversion: from vegetable waste to Protein production for fish Feed) Coordinatore: Università dell'Insubria, 2015, ente finanziatore: Fondazione Cariplo.

Chiunque si occupi di insetti commestibili o si cimenti per la prima volta con questa ampia ed articolata tematica di ricerca, certamente non può non vedere quanto ancora ci sia da indagare, da precisare e da definire e quanto margine ci sia per nuove e interessanti applicazioni. È perciò molto istruttivo leggere alcuni dei passaggi più significativi contenuti nel *Summary Report* (2) della già citata Conferenza di Wageningen che trascrivo di seguito e integralmente:

Recommendations

For Academia (and Research agencies) to:

- *Establish international research consortiums which can apply for or support/provide funding*
- *Conduct interdisciplinary and international research programs on using insects as food and feed*
- *Reposition the field of entomology to focus more on the use of insects for food, feed health and as a provider of raw materials for other sectors*

For governments & international donors to:

- *Recognize the potential of and include insects into national food and feed security strategies*
- *Create enabling environments for developing the edible insects sector, including through incentive policies, legislation and clear regulations governing the sector*
- *Take an active and constructive role in policy debates and legal issues through relevant ministerial bodies at national level and at regional/international levels where relevant in the global food and feed authority discussion*
- *Increase funding opportunities for education, communication and for fundamental and applied research in insects as food and feed*
- *Include edible insects into habitat conservation strategies, practices and legislation to protect insects populations from overharvesting...*

Pochi mesi dopo la conclusione del convegno olandese e in occasione della annuale Giornata mondiale dell'alimentazione, si è tenuta a Milano il 16 ottobre una conferenza intitolata "*Nutrire il pianeta con nuove fonti sostenibili. L'insetto nel*

piatto". Questo evento, voluto come anticipazione di Expo 2015, è stato promosso e organizzato dal "Salone Internazionale della Ricerca Innovazione Sicurezza Alimentare" della Società Umanitaria (9). L'incontro, ospitato nei locali dell'Acquario Civico di Milano, location simbolica in quanto unica struttura superstite dell'Expo di Milano del 1906, ha previsto una conferenza a carattere divulgativo a cui ha fatto seguito un tavolo di discussione pomeridiano promosso da Andrea Mascaretti di Umanitaria, Ettore Capri e Maura Calliera dell'Università Cattolica di Piacenza, Mario Colombo dell'Università di Milano e dal sottoscritto. I lavori sono proseguiti raggruppando circa venti tavoli tecnici, coordinati da esperti di varie Università, enti pubblici e privati, in cinque aree tematiche con l'obiettivo di puntualizzare i vari aspetti legati agli "edible insects". Sono stati evidenziati differenti punti, come la valutazione circa le prospettive sociali e culturali, lo stato delle conoscenze, le opportunità e le cautele legate all'allevamento, gli aspetti alimentari e nutrizionali, i problemi legati alla sicurezza alimentare, la valutazione dei rischi, il quadro normativo in materia ed infine le strategie di comunicazione e d'informazione.

Attraverso questa iniziativa e con un meccanismo partecipativo, si è progressivamente costituito un *network* italiano di esperti di diversa estrazione. Il gruppo di un centinaio di persone, che è destinato ad aumentare progressivamente, sta lavorando alla produzione di un documento di sintesi che verrà pubblicizzato in ambito Expo e portato all'attenzione di vari stakeholders e policy makers.

Proseguiva il Canestrini nel suo articolo del 1905:

«E chi vi sa dire se, coll'andar degli anni, in mezzo a questo vertiginoso aumentare di popoli, non dovremo anche noi rivolgere il nostro sguardo a qualche umile rappresentante di questa numerosa famiglia di pigmei!»

L'aforisma di Yogi Berra citato in premessa può essere smentito, la previsione di Canestrini si sta avverando e possiamo anche noi dire che il futuro avrà sei zampe!

L'uso degli insetti come fonte di food e feed è certamente una delle vie da percorrere per mitigare i grossi problemi alimentari che incombono sulle nostre società nei prossimi decenni, e in Italia sia il mondo della ricerca che quello dell'imprenditoria non possono essere assenti rispetto a questo tema. Se il nostro Paese, che giustamente e orgogliosamente si vanta di essere leader nella produzione di cibo di alta qualità e di certificata sicurezza e salubrità, vorrà compe-

tere con altri paesi come l’Olanda, la Francia e l’Inghilterra, dove da più tempo vengono allocate risorse in questo ambito, dovrà non solo dedicare una maggiore attenzione ma destinare adeguati finanziamenti affinché gli studi e le attività sugli edible insects non siano solo marginalmente e occasionalmente presi in considerazione.

L’interesse sugli Edible Insects che trova ampio spazio anche nei mezzi di comunicazione, auspicabilmente dovrebbe portare a un maggiore coinvolgimento degli stakeholder politici ed istituzionali affinché, in questo nuovo settore assolutamente pertinente con il tema portante di Expo 2015, l’Italia non perda l’occasione di tenere il passo con quanto avviene da più tempo in altri Paesi.

RIASSUNTO

In Italia l’attenzione sugli insetti commestibili è andata via via crescendo nell’ultimo decennio e il nuovo ambito di interesse ha coinvolto progressivamente un numero sempre maggiore di competenze accademiche e di nuove attività imprenditoriali. Il nucleo iniziale concentrato in particolare in area padovana si è via via arricchito di gruppi di varie regioni italiane e si è così identificato un corposo network di ricerca ove sono presenti competenze diverse e integrate.

BIBLIOGRAFIA

- 1) <http://www.fao.org/docrep/015/an233e/an233e00.pdf>
- 2) <http://www.fao.org/forestry/edibleinsects/86385/en/>
- 3) info@dipteranutrition.com
- 4) info.smartbugs@gmail.com
- 5) <https://it-it.facebook.com/biosistemisl>
- 6) <http://www.italbugs.com/>
- 7) <http://www.entonote.com/>
- 8) <https://www.facebook.com/addento>
- 9) <http://www.edibleinsects.it/>

L'ALLEVAMENTO DEGLI INSETTI PER L'ALIMENTAZIONE: PROBLEMATICHE, CAUTELE E PROSPETTIVE

MARIO COLOMBO (*)

(*) Dipartimento di Scienze per gli Alimenti, la Nutrizione e l'Ambiente, Università degli Studi di Milano, via G. Celoria 2, 20133 Milano, Italy; e-mail: mario.colombo@unimi.it

Lettura tenuta durante la Seduta pubblica dell'Accademia Nazionale Italiana di Entomologia su "Gli Insetti: una risorsa sostenibile per l'alimentazione" - Firenze, 16 gennaio 2015.

Insect rearing as food: problems, caution and prospects

An overview of the interactions over the centuries between humans and insects is given. Different fields of interest are considered: the importance of the insect in human diet, in human health and in some commercial activities, like animal feed and agriculture. Particular attention is given to the role of insects as human food.

KEY WORDS: man-insect interaction, bees, entomophagy, animal feed, insect rearing.

Chi pensa che l'uomo anticamente abbia intrapreso rapporti di utilità solo con animali superiori, quali: cavalli, vacche, pecore, asini, ecc., sbaglia: quantomeno alcuni millenni prima della nascita di Cristo, in Cina, veniva addomesticato, allevato e selezionato il baco da seta, *Bombyx mori* (L.) (GOOD, 2002).

Facendo un grande balzo verso i nostri tempi, proveremo a ricordare quali rapporti l'uomo ha saputo intraprendere con gli insetti.

L'ape, *Apis mellifera* L., grazie alla sua produzione più nota e diffusa, il miele, sin da epoche remote ha riscosso l'interesse e l'attenzione da parte dell'uomo. Tenendo in considerazione solo la specie più diffusa, la *mellifera*, il suo allevamento è stato sempre semi brado. Per essere più precisi, sino alla metà del secolo XIX, non si è trattato di una gestione in cattività, ma semplicemente di una predazione, con il sacrificio delle api, perché l'uomo si potesse appropriare del miele. In realtà, forme primordiali ed elementari di allevamento sono consistite nel fornire alle famiglie di api dei ricoveri, più o meno rifiniti e curati, dove potessero vivere, lavorare, produrre e immagazzinare il miele. Fino al momento in cui, sopprimendo le api con tecniche rudimentali, l'allevatore sottraeva i favi con il miele, per poi spremerli con dei torchi, o lasciarli colare lentamente. A questo metodo cruento, di cui restano tracce in disegni, si abbinava il nomadismo, per incrementare le produzioni e quindi sfruttare maggiormente le famiglie. Ma restava, quale epilogo di questo rapporto apparentemente mutualistico, la soppressione delle colonie per appropriarsi di un miele sempre e comunque di

qualità scadente rispetto a quello attuale. Benché ancor oggi, nelle aree meno sviluppate del pianeta sussista l'apicidio come modalità di gestione delle api, all'incirca 150 anni fa è stata progettata e realizzata l'arnia razionale, con cui gli apicoltori possono meglio gestire l'allevamento, soprattutto evitando la soppressione delle colonie. Con l'ausilio delle arnie razionali infine sono stati conseguiti più obiettivi: di ispezionare le colonie per fare le valutazioni sanitarie e di ordine biologico; di migliorare la qualità del miele; di ottenere produzioni integrative (la pappa reale, la propoli, il veleno e il polline). Questi sono solo alcuni dei vantaggi determinati dal cambiamento delle metodiche di allevamento. Ciò nonostante, l'ape resta indomita, e solo per compiacere alle esigenze dell'apicoltore si è adeguata a vivere nelle arnie di umana ideazione.

* * *

Zigzagando, avanti e indietro con il tempo, un altro settore, molto più vicino a noi e che è via via cresciuto, è quello dell'allevamento di specie di insetti come esche per la cattura di pesci.

Se originariamente erano esclusivamente le larve di moscone (*Sarcophaga carnaria* (L.), *Calliphora* sp.) allevate a scopo alieutico, oggi il mercato di insetti ha perfezionato le tecniche d'allevamento e si è arricchito di molte altre specie: la tarma della cera, *Galleria mellonella* (L.), il verme delle farine, *Tenebrio molitor* L., la mosca soldato, *Hermetia illucens* (L.), sono solo alcune delle esche che sono andate ad arricchire la gamma di quelle disponibili. Alle specie locali si

sono aggiunte le alloctone, quali il “kaimano”, *Zophobas atratus* (F.).

In altri casi le difficoltà irrisolte di approntare allevamenti veri e propri, ha fatto sì che si continuasse a raccogliere l'esche direttamente in natura come nel caso di larve di tipule, volgarmente chiamate “gatoss”.

Originale e frequente è il caso delle larve di tricotteri, prelevate dalle pietre dei corsi d'acqua, poi impiegate per la pesca di trote e salmerini presenti negli stessi torrenti. Larve che essendo protette da un astuccio a sua volta rivestito di pietruzze, vengono chiamate “porta sassi”.

L'elenco di insetti impiegati come esche è molto lungo e sostanzialmente si basa sul principio di impiegare quelle specie di cui i pesci, predatori insettivori, si nutrono spontaneamente perché attratti dalle forme, dai colori o da movimenti che stimolano la naturale aggressività della specie ittica.

Una parte delle specie già citate viene allevata o semplicemente raccolta per alimentare animali da compagnia. *T. molitor*, anziché *Acheta domesticus* (L.), sono comunemente reperibili, vive, o morte disidratate, per questo scopo. È il caso anche dei chironomidi, che possono essere allevati o prelevati da ambienti favorevoli alla loro riproduzione, per essere dati in pasto a pesci d'acquario o di laghetti, particolarmente esigenti.

* * *

Un numero vastissimo di specie, che tende sempre più ad incrementare, è quello destinato alla lotta biologica.

Predatori e parassitoidi afferenti a diversi Ordini, oggi vengono allevati per essere distribuiti all'occorrenza per controllare insetti nocivi che con la loro attività trofica sono in grado di causare gravissimi danni economici o di sconquassare interi ecosistemi. Rincoti, Imenotteri, Ditteri e Coleotteri, rappresentano la schiera di adepti alleati dell'uomo per la salvaguardia delle colture o degli agroecosistemi oltre che dell'*habitat*. Questo ambito scientifico e operativo è relativamente recente, anche se concettualmente l'uso di insetti entomofagi per eliminare quelli fitofagi dannosi, si perde nei secoli scorsi. Negli ultimi anni questo settore ha avuto un notevole dinamismo, anche dettato da una tendenza generale alla riduzione dell'impiego dei fitofarmaci di sintesi – si vedano le misure adottate nel Piano Agricolo Nazionale –, a vantaggio di metodiche che contemplino organismi utili naturali; tale esigenza è inoltre di molto incrementata nei recentissimi decenni al fine di contrastare un perpetuo e crescente flusso di specie aliene, prive di antagonisti nei nuovi territori di conquista (JUCKER e LUPI, 2012).

È riconosciuto infatti che l'impiego di ausiliari, in particolare insetti, nematodi, funghi e virus, nella limitazione di specie esotiche, abbia le prerogative di essere il metodo più efficace e permanente. Oggi sono molteplici le biofabbriche o i semplici laboratori in grado di fornire il materiale richiesto e un adeguato supporto tecnico. Riguardo agli insetti, le metodiche di allevamento sono delle più disparate. A volte si tratta a tutti gli effetti di riprodurre e moltiplicare in ambiente adeguato una determinata specie, in altri casi di prelevare il materiale biologico in campo, conservarlo e distribuirlo dove è necessario (VIGGIANI, 1997). Non si deve celare anche il rischio a cui si va incontro quando si impiegano organismi viventi, per i quali non sempre si riesce a prevedere l'effettivo impatto ambientale. Uno dei casi più recenti è quello del colettero coccinellide *Harmonia axyridis* Pallas introdotto nel vecchio continente quale ausiliario predatore di afidi, tripidi ecc, ma rivelatosi poi come un famelico predatore, che terminate le vittime preferite, ha rivolto l'attenzione verso le coccinelle autoctone, decimandone le popolazioni (ROY e WAJNBERG, 2008)).

* * *

Una certa affinità all'ambito sopra descritto, lo hanno gli insetti allevati o gestiti per l'impollinazione. Emblema dell'insetto pronubo è indubbiamente l'ape. Specie che in questo contesto ha un suo specifico spazio, derivante dalla molteplicità delle peculiarità che ingloba e dei comuni interessi che la vedono alleata dell'uomo. Bombi, Osmie e altri Imenotteri, invece, hanno come loro unica peculiarità, rispetto agli interessi dell'uomo, quella di impollinare. Ci si potrebbe domandare perché non utilizzare solo le api, più facili da gestire e più economiche da riprodurre. L'evoluzione di molte specie botaniche, non di rado, passa anche da aspetti coevolutivi con l'insetto che ne ha favorita la moltiplicazione e diffusione. L'etologia dei diversi gruppi entomologici che svolgono la funzione pronuba e le loro caratteristiche morfologiche, fanno sì che solo o soprattutto determinate specie, abbiano una precisa correlazione con le diverse essenze botaniche.

Temperature ambientali consone al volo, lunghezza della ligula, dimensione del corpo, momento delle secrezioni nettariifere e pollinifere, costituiscono un *unicum* a cui non ci si può sottrarre nella scelta del pronubo più idoneo e quindi da destinare all'allevamento.

Ma l'entomologia, nella sua accezione più narcisistica, assolve anche a un ruolo estremamente prezioso, sia per l'ambiente che per le singole persone. Considerando il contesto nel quale verrà letto questo lavoro, ometto di scrivere della famosa cassetta di

farfalle che si propone di fare vedere alla propria corteggiata, ma certo è che il fascino estetico di molte specie entomologiche attira l'attenzione dell'appassionato, ma pure di chi ama il bello. Emblematico di questo aspetto è l'ordine dei lepidotteri. Chi nella propria vita, entomologo o meno, non ha mai subito l'attrazione verso farfalle dai colori appariscenti e dal volo armonioso o imprevedibile? Così, senza volerlo, una moltitudine di insetti riescono con il loro aspetto ad attirare l'attenzione dello scienziato, dell'appassionato, ma pure della persona attenta a quanto la circonda. Le livree, ma pure le luci dei lampiridi attirano, affascinano e incuriosiscono l'uomo. Ma ad essere colpito non è solo il senso della vista, anche l'udito. Il canto dei grilli ne è un esempio. In molti Paesi asiatici vengono allevati e venduti grilli all'interno di apposite gabbiette in bambù per allietare le giornate di chi li acquista. Veri e propri kit, per l'allevamento e la cura dei grilli, i riproduttori e per la loro prole.

Insetti che vengono utilizzati per gratificare la voglia del collezionista, a volte più collezionista che entomologo. Cassette entomologiche contenenti spaventosi coleotteri dai colori brillanti o metallici, dalle zampe e antenne lunghe oltre il corpo, inoffensive mandibole che danno un aspetto terrifico, fasmidi dalle dimensioni impensabili. Specie a rischio di estinzione a causa della loro bellezza e straordinarietà.

Altre volte si tratta di insetti che si allevano per il piacere di vederne i comportamenti, e magari con un pizzico di piacere di vendetta, quando forniamo una fastidiosa mosca in pasto a una bella e magari esotica mantide. Infine, chi non si volta a vedere o ammirare un affascinante Papilionide o un ingombrante Saturnide?

Per concludere, insetti non utili all'economia o all'ambiente, ma che con la loro presenza provocano benessere a chi li ammira o li detiene.

* * *

Ci sono poi casi, non rari, in cui il rapporto non è solo di tipo estetico o comunque fisicamente esterno all'uomo, ma diviene talmente intimo da entrare nella fisiologia e nei complessi meccanismi vitali umani. Anche qui consideriamo le api come punto di partenza; si pensi ai loro tanti prodotti che vengono ingeriti dall'uomo: miele, pappa reale, polline con effetto terapeutico o placebo. Alla cera, da secoli usata per la bellezza, ma pure per la salute delle parti trattate. Al veleno, involontariamente ricevuto con la puntura di un aculeato provocata per difesa o offesa, ma anche volutamente ricevuto per un trattamento pilotato di punture per lenire le sofferenze dell'artrite. L'elenco non inizia e finisce con le api o

di altri aculeati, si estende ad altre specie ben lontane da quell'eletto ordine.

Nota a molti è il caso della cocciniglia *Kermes vermilio* (Planchon), allevata sulle pale di fichi d'India *Opuntia* sp. ed usata come colorante naturale per la produzione di alchermes e di *Dactylopius coccus* Costa nota per dare una caratteristica tinta a un noto aperitivo. Abbiamo poi la valorizzazione di cibi, grazie al contributo organolettico di insetti vivi, che triturati nella masticazione, provocano un gradito arricchimento nel sapore. Il Casu marzu, formaggio rinomato sardo, è forse il più noto e particolare. Artefice di questo miglioramento delle qualità organolettiche del formaggio è *Piophilus casei* (L.), moschino tanto temuto dai casari, ma ricercato dai buon gustai del formaggio sardo. Ugualmente infestante ma altro formaggio lo troviamo in Val Staffora, nell'Oltrepò pavese dove si produce il Nisso di Menconico, il formaggio che salta... ovvero con le larve di *Piophilus*, caratterizzate dallo spiccare piccoli salti quando disturbate.

L'elenco di insetti abbinati a cibi o bevande è lungo, ma chiudo con un liquore arricchito dalla larva di *Comadia redtenbacheri* Hammerschmidt, un lepidottero cosside che nello stadio preimmaginale si nutre di agavi, e che viene abbinato al Mezcal, influenzandone il sapore e magari, chissà, favorendo la digestione.

Il passo è breve per passare da insetti con effetti medicamentosi placebo o ipotetici, ad altri la cui attività terapeutica è riconosciuta. Specie che vengono raccolte in natura o che vengono allevate per usi curativi o stimolanti. La cantaridina, prodotta dalle elitre del Coleottero Meloide *Lytta vesicatoria* (L.), ne è un esempio. Tralasciando le varie prescrizioni mediche a cui viene associata, resta comunque uno degli esempi emblematici di un rapporto consolidato fra un insetto e il suo uso a beneficio della salute umana.

Altrettanto noto è *Paederus fuscipes* Curtis e suoi congeneri, che attraverso la pederina contenuta nell'emolinfa e ben più velenosa del veleno del Cobra, è in grado di provocare gravi danni cutanei, ma se adeguatamente gestita farmacologicamente, è un potente cicatrizzante.

A volte nell'uso degli insetti come farmaci o coadiuvanti, ci sono rapporti diretti fra loro e l'uomo, altre volte intervengono altri organismi, con il ruolo terapeutico, e l'insetto, si potrebbe dire di essere un "vettore". È il caso dei lepidotteri *Hepialidae*, contaminati dal fungo *Ophiocordyceps sinensis* (Berk.), che vengono impiegati da secoli nella medicina cinese (WANG e YAO, 2011). Raccolti manualmente uno per volta in zone ben delimitate coincidenti col Tibet, oggi il prelievo è contingentato e la stessa esportazione è limitata o vietata.

Un esempio attuale, riguarda l'uso dei ditteri della famiglia dei Calliforidi, utilizzati con criteri razionali e ben misurati, per sanificare le ferite. L'uso è basato sul principio di fare assumere, da parte delle larve, tutte le parti necrotiche delle ferite, in modo da lasciare esclusivamente le cellule sane e non contaminate, quindi pronte a rigenerare tessuti sani (SHERMANN *et al.*, 2000).

Ma si sa che oltre la vita e le cure, c'è sempre la morte. Ed anche qui gli insetti non ci lasciano. Se fa parte della natura che molte specie si nutrano di corpi morti e/o in putrefazione, l'applicazione razionale delle conoscenze nel rapporto fra queste specie e la morte dell'uomo ha dato avvio alla entomologia forense, limite "estremo" a cui si spinge la nostra scienza: oltre la morte. Se a questi esempi, estremamente parziali, aggiungiamo quelli legati alla tradizione popolare, alle credenze locali i cui effetti benefici non sono sempre certificati da sperimentazioni scientifiche, l'elenco sarebbe infinito, o quasi.

È però ampiamente presumibile che il primo rapporto fra uomo e insetti, sia stato di tipo trofico, probabilmente da entrambe le parti, parassita per una parte, in cambio di un approvvigionamento proteico senza grandi fatiche e rischi, dall'altra. Del resto ancora oggi abbiamo ampie tracce di insetti che vivono a spese dell'uomo, anche come vettori di gravi pestilenze. Ma è pur vero che ancora oggi è di oltre due miliardi il numero di persone che si nutrono di circa 2000 specie di insetti. Coleotteri, Imenotteri, Ortotteri, Isotteri, Emitteri e altri Ordini compongono il carniere da cui intere popolazioni si approvvigionano, utilizzandoli crudi, fritti e pepati, bolliti e in altri modi. Una vera cucina a sé stante, coincidente prevalentemente con le aree tropicali, dove la presenza temporanea, ma ciclica o permanente di copiose quantità di insetti garantisce una continua disponibilità proteica, senza fatica e senza rischi (DEFOLIART, 1997; CERRITOS, 2009; VAN HUIS *et al.*, 2013).

* * *

Anche in aree meno vocate a questa fonte alimentare, è capitato di lambire l'entomofagia. In certe zone della Pianura Padana, dove la presenza di marcite, di paludi e acquitrini consentiva la vita di grandi popolazioni di Odonati, fino a 70/80 anni or sono si mangiavano le libellule. Del resto, un testimone di tutto rispetto, Leonardo da Vinci, in un suo trattato, prevalentemente di cucina, suggerisce per la preparazione di piatti dell'epoca: api, grilli e larve (ROUTH, 2005).

Seppure ci siano tracce di un uso edule degli insetti nel nostro Continente, resta associato che questi "ingredienti" non fanno parte della tradizione culi-

naria occidentale. Benché recentemente, sulla scia di una globalizzazione che investe tutto e tutti, un certo filone di pensiero abbia portato gli artropodi sulle tavole, restano due elementi incontestabili. Il primo è che questa alimentazione, per l'uomo, risulta al momento, più una curiosità che non una possibile fonte proteica integrativa o sostitutiva. Il secondo è che gli insetti godono di requisiti estremamente favorevoli nella loro capacità di sintetizzare proteine, caratterizzati da un basso impatto ambientale, ovvero, impronta ecologica. Questo aspetto, abbinato ad alcune esigenze sempre più evidenti del mondo occidentale – smaltimento e valorizzazione della frazione umida dei rifiuti; necessità di proteine di alto valore a basso costo; riduzione delle superfici destinate all'agricoltura intensiva; eccessivo impatto degli allevamenti zootecnici –, ci ha fatto riflettere sulla possibilità di trasformare tramite l'azione trofica degli insetti rifiuti organici in proteine (RUMPOLD e SCHLÜTER, 2013; VAN HUIS, 2013).

Benché questa tematica non sia nuova, resta comunque ampio l'ambito nel quale la ricerca può e deve muoversi. Si pensi infatti alla grande quantità di rifiuti potenzialmente impiegabili come alimento per gli insetti, alla plasticità di questi ultimi nell'adattarsi ad alimenti diversi e infine all'elevatissimo numero di specie a cui si può fare riferimento per individuare quelle più consone ai nostri scopi.

Seppure si tratti di un allevamento, quello degli insetti ha caratteristiche, esigenze e finalità ben diverse da quelli intesi in modo "tradizionale". Dando attuazione ad un loro allevamento massale, mirato alla produzione di proteine da destinare agli animali superiori, ci sono quindi una serie di problematiche originali.

Anche se di esempi a cui fare riferimento (api, bachi, bombi, ecc) ne abbiamo già molteplici, gli obiettivi che ci si prefigge, fanno sì che siano relativamente utili per risolvere i dubbi e le domande che ci si pone quando lo scopo è quello di utilizzare la specie scelta, come alimento per animali superiori.

Innanzitutto le strutture all'interno delle quali si andrà ad operare, dovranno essere dotate di tutte le misure necessarie ad evitare possibili fughe di individui. Perché l'allevamento abbia significato economico, le produzioni di tonnellate di individui sono raggiunte con concentrazioni di milioni di individui, presenti in diversi stadi di sviluppo. Quindi di dimensioni ridotte, grandi, più o meno mobili, alati e non. Ogni minimo pertugio rappresenta una possibile via di fuga e, indipendentemente dai maggiori o minori rischi ambientali o per la salute umana, rappresentati dalla specie considerata, è evidente

che l'evasione può rappresentare gravi problemi, anche solo considerando il potenziale numero di individui in fuga.

Quindi la struttura deve essere ben isolata dall'esterno, pressoché quanto una serra da quarantena.

Se da un lato si devono evitare le fughe, altrettanto si deve fare per gli ingressi di specie "inquinanti", predatrici o parassitoidi dell'insetto in allevamento. In questi casi i rischi per l'allevamento, sono ancora più alti. L'accesso può avvenire non solo attraverso la struttura, ma anche con le movimentazioni dei materiali e il transito degli operatori. Saranno quindi da prevedere altre barriere all'interno degli edifici al fine di tamponare delle possibili proliferazioni di acari o infestanti sull'intera area d'allevamento.

La presenza di sistemi di monitoraggio costante, attuati tramite trappole o filtraggio dell'aria, permette di essere tempestivi nell'intercettazione di organismi pericolosi e di dare attuazione alle reazioni necessarie per preservare l'ambiente da letali infestazioni.

Non da meno deve essere evitato a microrganismi di diversa natura di proliferare, sia quali patogeni degli insetti, sia come saprofiti sui substrati alimentari. Infatti la degenerazione qualitativa del cibo è sicuramente fonte di danno e nocività.

Non da sottovalutare è la predisposizione più consona delle condizioni ambientali: temperatura, flussi d'aria, umidità, fotoperiodo, microambienti di proliferazione (SCHNEIDER, 2009). Devono essere ideali per la vita e la crescita delle popolazioni e nel contempo non consentire e favorire lo sviluppo di funghi o microrganismi nocivi. A seconda delle diverse età di sviluppo, cambiano le condizioni più appropriate alla crescita dell'insetto e di conseguenza tali condizioni devono essere modificate. Flussi d'aria, criteri di umidificazione, tipologia e modalità di illuminazione, forme e materiali, sono elementi essenziali per il successo o meno dell'allevamento. Tutte queste attenzioni, dovranno avere sempre come costante riferimento, l'economicità degli investimenti, ma pure quella gestionale, senza ignorare le esigenze degli individui in allevamento.

A quanti entomologi è capitato di fallire nell'allevare una specie che in natura prolifera senza limite e con esigenze apparentemente minime?

La stessa tipologia del substrato alimentare deve essere motivo di attenzione, sia nei contenuti, sia nella forma e dimensione. La qualità, la certezza di assenza di sostanze venefiche, tossiche o semplicemente interferenti nella fisiologia dell'insetto determinano un fallimento o un successo. Nel contempo, i vari substrati dovranno subire dei processi di sanificazione che garantiscano agli insetti di potersene

cibare senza rischi, ma che non causano lo scadimento nutrizionale del *pabulum* stesso.

Soprattutto quando si pensa di utilizzare substrati poveri e di origini dubbie, è essenziale una sua standardizzazione e omologazione igienica. È pur vero che documenti e filmati ci mostrano allevamenti di specie spartane adatte a vivere in condizioni igieniche assenti, ma si deve obbligatoriamente pensare alla salute dell'insetto allevato, esattamente come ora si verifica nel caso di polli, suini ecc. Ciò in considerazione anche, che il prodotto di questo allevamento, diventerà a sua volta nutrimento per altre specie superiori.

Riguardo all'impianto è da prevedere una progettazione, che riguardi tanto le strutture quanto i materiali, che consenta un'economia nella gestione e mantenga nelle condizioni ideali l'insetto.

A fianco dell'allevamento massale si devono prevedere degli allevamenti dei riproduttori, in modo tale da mantenere il genotipo ed eventualmente andare verso una selezione della progenie, che abbia esaltate le caratteristiche a cui noi diamo maggiore valore.

La fase produttiva, termina con l'abbattimento nel momento più consono e nel processo di trasformazione per la migliore conservazione. Privilegiate sono le farine.

Resta di tutto il processo produttivo lo scarto del nutrimento e le deiezioni, che a loro volta potranno rappresentare una fonte ecologica di reddito, quali concimi e ammendanti.

Il percorso di questo nuovo filone nei rapporti uomo-insetto passa anche dalla ricerca avanzata. Si sondano nuovi campi e come tali lo sono solo in minima parte. Ma le stesse condizioni in cui si muove l'economia mondiale favoriscono l'approccio a questa tematica. Si pensi come la concentrazione delle merci, l'agroalimentare, l'industria di trasformazione, dispongano di masse di materia prima, mai avuta disponibile prima d'ora. L'industria conserviera, le distillerie, i birrifici, producono centinaia di migliaia di tonnellate di scarti per i quali lo smaltimento è oneroso e va a detrimento dell'ambiente. Considerando che il mondo entomologico dispone di oltre un milione di specie, pronte ad aggredire un'infinità di substrati alimentari, uno dei passi auspicabili è quello di rintracciare le specie che più di altre si adattano agli scarti delle produzioni industriali.

Nel contempo, perché tutto questo processo di gestione possa assumere concretezza, è essenziale che si incomincino a scrivere le regole e norme perché diventino legge e quindi consentano l'avvio di attività produttive.

Per concludere si può affermare che questo approccio all'entomologia, fortifica l'immagine dell'insetto, quale alleato dell'ambiente e dell'uomo. Non più

come antagonista negli interessi economici o considerato commensale delle nostre abitazioni.

In questo caso l'insetto a pieno titolo è alleato dell'uomo, con un'impronta fortemente ambientale e persino economica, assurgendo a pieno titolo nella *green economy*.

RIASSUNTO

Vengono analizzate le interazioni tra uomo ed insetti attraverso una panoramica nel corso dei secoli, in diversi campi: l'importanza degli insetti nell'alimentazione, per la salute e in molte attività commerciali.

In particolare viene evidenziato il ruolo degli insetti come cibo, analizzando eventuali criticità degli allevamenti massali.

BIBLIOGRAFIA

- CERRITOS R., 2009 - *Insects as food: an ecological, social and economical approach*. CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources, 4(27): 1-10.
- DEFOLIART G.R., 1997 - *An overview of the role of edible insects in preserving biodiversity*. Ecology of Food and Nutrition, 36 (2-4), 109-132.
- ERENS J., Es Van S., HAVERKORT F., KAPSOMENOU E., LUIJBEN A., 2012 - *A bug's life*. - Project 1052: 'Large-scale insect rearing in relation to animal welfare'
- GOOD I., 2002 - *The Archaeology of Early Silk*. - Proceedings of the 8th Biennial Symposium of the Textile Society of America, September 26-28, 2002, Northampton, Massachusetts, Paper 388.
- JUCKER C., LUPI D., 2011 - *Exotic Insects in Italy: An Overview on Their Environmental Impact*. - In: The Importance of Biological Interactions in the Study of Biodiversity, Jordi Lopez Pujol (Ed.), InTech, Rijeka (Croatia): 51-74.
- ROUTH J., 2005 - *Note di cucina di Leonardo da Vinci*. Voland, Roma: 174 pp.
- ROY H., WAJNBURG E., 2008 - *From biological control to invasion: the ladybird Harmonia axyridis as a model species*. BioControl (2008) 53:1-4.
- RUMPOLD B., SCHLÜTER O., 2013 - *Potential and challenges of insects as an innovative source for food and feed production*. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 17: 1-11.
- SCHNEIDER J.C., 2009. - *Environmental biology of insect rearing*. In: J.C. Schneider (ed.), *Principles and procedures for rearing high quality insects*. - Mississippi State University, Mississippi State, MS, pp. 97-120.
- SHERMAN R.A., M.J.R. HALL M.J., THOMAS S., 2000 - *Medicinal Maggots: An Ancient Remedy for Some Contemporary Afflictions*. Annual Review of Entomology, 45: 55-81.
- VAN HUIS A., VAN IJTERBEECK J., KLUNDER H., MERTENS E., HALLORAN A., MUIR G., VANTOMME P., 2013 - *Edible insects: future prospects for food and feed security*. FAO eds: 187 pp.
- VAN HUIS, A. 2013 - *Potential of insects as food and feed in assuring food security*. Annual Review of Entomology. - 58(1): 563-583.
- VIGGIANI G., 1997 - *Lotta biologica e integrata nella difesa fitosanitaria. Vol. 2: Lotta integrata ai fitofagi*. Liguori Ed.: 460 pp.
- WANG X.L., YAO Y.J., 2011 - *Host insect species of Ophiocordyceps sinensis: a review*. - Zookeys, 127: 43-59.

ALLEVAMENTO SU LARGA SCALA D'INSETTI E FILIERE PRODUTTIVE

SILVIA CAPPELLOZZA (*) - ALESSIO SAVIANE (*)

(*) *Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria (CRA), Unità di Apicoltura e Bachicoltura di Bologna, sede di Padova, Via Eulero, 6a - 35143 Padova; e-mail: silvia.cappelozza@entecra.it*
Lettura tenuta durante la Seduta pubblica dell'Accademia Nazionale Italiana di Entomologia su "Gli Insetti: una risorsa sostenibile per l'alimentazione" - Firenze, 16 gennaio 2015.

Insect mass-rearing and production chains

Industrial mass-rearing of insects on a large scale is a recent process, with peculiar characteristics, which distinguish it from other insect rearing activities practiced in more ancient times quite. Particularly the rearing dimensions, continuity in time of the activity, economic sustainability of the process, if compared to other agricultural crops, modern and efficient management by the staff are distinctive traits. In the paper some basic criticalities of the technique, the choice of the species are discussed and the silkworm *Bombyx mori* is proposed as the most convenient species for a "made in Italy" insect chain for feed and food production.

KEY WORDS: mass-rearing, pathogens, diets, "made in Italy" insect rearing, silkworms

INTRODUZIONE

L'allevamento degli insetti è una pratica piuttosto recente, poiché gli insetti utilizzati per l'alimentazione sono sempre stati prevalentemente raccolti in natura. Casi eccezionali sono rappresentati dalle api, i bachi da seta e le cocciniglie. Negli insetti, a causa delle piccole dimensioni, la concentrazione degli individui per unità produttiva è spesso molto elevata. A fronte di questa elevata concentrazione, la produzione alimentare rimane piuttosto limitata. Ad esempio, un alveare contiene circa 50-60.000 api ed anche fino a 90.000 prima della sciamatura, ma la produzione di miele si colloca tra i 10-12 kg per alveare (CONTESSI, 2010). Il baco da seta è allevato per la sua duplice attitudine (seta e crisalide), di cui la più rilevante è la produzione di fibra. Da un ettaro di superficie investita a gelso si ottiene la quantità di foglia necessaria ad allevare circa 25 telaini di seme-bachi, ovvero 500.000 uova, le quali dopo la schiusa e crescita delle larve daranno però luogo a circa 300 kg/ha di bozzolo secco, ovvero 150-200 kg di crisalidi secche (CAPPELLOZZA, 2010). Per quanto riguarda le cocciniglie, questi insetti sono utilizzati soprattutto per il pigmento alimentare che se ne estrae (FAO, 1995): in particolare *Kermes vermilio* (vermiglio della quercia) è impiegato per produrre l'alchermes, *Dactylopius coccus* (da cui si estrae rosso carminio), infeudato alle famiglie delle Cactaceae e allevato su *Opuntia ficus indica* (in ambito mediterraneo), origina il

colorante alimentare E120. Sono tuttavia necessari da 80.000 a 100.000 insetti per ottenere un kg di colorante. Più recentemente nuovi allevamenti d'insetti hanno preso piede per finalità non strettamente correlate alla nutrizione umana. Fra questi si annoverano: a) gli impollinatori (specialmente per l'impollinazione in serra): bombi (*Bombus* spp.) e *Apis* spp.; b) predatori e parassitoidi per il controllo biologico degli insetti dannosi, ad es. la coccinella (*Hippodamia variegata*, *Adalia bipunctata*, *Cryptolaemus montrouzieri*), *Trichogramma* spp., parassitoide delle uova; c) insetti per "pet food": *Grylloides sigillatus*, *Grillus bimaculatus*, *Zophobos morio*, *Alphitobius diaperinus*, *Tenebrio molitor*, *Locusta migratoria*, *Galleria mellonella*... Tuttavia nessuno degli allevamenti fino a qui illustrato può essere considerato realmente un allevamento su scala industriale, per cui devono essere, invece, adottati standard basati sulla produzione giornaliera, la concentrazione produttiva, la meccanizzazione e il contenimento dei costi. Esaminando il primo parametro, un allevamento industriale è stato definito come quello che permette di raggiungere la produzione di 1 tonnellata di peso fresco per giorno ("Expert Consultation Meeting at Fao Headquarter, Rome, 2012" riportato in VAN HUIS *et al.*, 2013). Questo concetto ne implica necessariamente un altro: la produzione giornaliera deve essere in continuo, e non legata alla stagionalità, come invece avviene nella magioranza degli allevamenti d'insetti oggi praticati (pensiamo all'apicoltura e bachicoltura), almeno

nei climi temperati. Inoltre, s'intende come allevamento industriale un processo in cui, a differenza di altri allevamenti semi-domestici del passato, le unità produttive non si immaginano come piccole e separate (alveari, piccoli tunnel dei bachicoltori o locali degli allevatori di grilli thailandesi...), ma ampie e con una bassa densità di manodopera, in maniera da ottenere un'elevata concentrazione produttiva, che faccia ottimizzare gli spazi e utilizzare razionalmente le strutture. Infine, le operazioni allevatorie tendono a essere quanto più possibile meccanizzate, al fine di contenere i costi, elemento essenziale, specialmente se l'allevamento di insetti è destinato a creare mangime per l'alimentazione di animali domestici.

LA SCELTA DELLA SPECIE IN UN ALLEVAMENTO SU SCALA INDUSTRIALE

La scelta della specie assume una rilevanza particolare per determinare la possibilità di iniziare un allevamento di tipo industriale. Infatti, le specie d'insetti prescelte devono rispondere a requisiti fondamentali (KOK, 1983, GON and PRICE, 1984), ovvero:

- La struttura sociale della popolazione deve essere di tipo gregario, gli individui devono poter occupare un territorio limitato, per ottimizzare gli spazi, e maschi e femmine devono potere convivere nello stesso habitat.
- Il comportamento sia intraspecifico, sia, eventualmente, interspecifico, deve essere non competitivo.
- Dal punto di vista alimentare è preferibile una specie generalista, che appetisce cibo facile da reperire o accetta una dieta artificiale e non mostra cannibalismo.
- Nei confronti dell'uomo deve essere di facile adattamento, priva di comportamenti di tipo antagonista, e non emettere odori sgradevoli.
- Dal punto di vista produttivo deve avere: ciclo breve, elevata sopravvivenza degli stadi giovanili, elevata capacità di deposizione, elevata potenzialità di accrescimento biomassa/giorno e bassa vulnerabilità alle malattie/parassiti.
- Per quanto riguarda l'attività locomotoria e la scelta dell'habitat, deve essere: non migratoria o sedentaria o con spostamenti a breve raggio, di agilità limitata, con elevata tolleranza ambientale e versatilità ecologica.
- Il comportamento riproduttivo deve comportare: cura delle uova, stadi giovanili rapidi e facilmente separabili facilmente da quelli adulti.

La scelta della specie è anche influenzata fondamentalmente dalla finalità; infatti, se l'allevamen-

to viene compiuto per la mangimistica animale, si può scegliere una specie che si alimenti su prodotti di scarto o prodotti secondari di altre filiere, poiché l'alimentazione degli insetti deve essere economica, per potere essere competitiva con altre materie prime, reperibile in loco, costante in qualità e quantità e di facile approvvigionamento. D'altra parte, se l'allevamento è compiuto con la finalità dell'alimentazione umana, in questo caso il riutilizzo di materiali di scarto è più difficile perché il "pabulum" alimentare degli insetti deve essere almeno "feed grade", ma anche "food grade" se l'insetto verrà consumato senza rimuoverne l'intestino. Anche in questo caso è preferibile che le risorse prime per la nutrizione degli insetti siano reperibili in loco, e mostrino le caratteristiche di quantità e qualità costante, ma, addizionalmente devono essere ancora più controllate per l'assenza di pesticidi e antibiotici.

I PROBLEMI DELL'ALLEVAMENTO D'INSETTI SU SCALA INDUSTRIALE

In Fig. 1 riadattata da COHEN (2004), è riportato uno schema in cui si possono apprezzare quali siano le criticità della gestione di un processo industriale di allevamento d'insetti. Nell'ambiente d'allevamento ci sono molti fattori da cui dipende non solo il benessere degli insetti, ma la loro produttività e il loro tasso di riproduzione. Se, ad esempio, consideriamo uno solo di questi fattori, quali l'umidità relativa, ci accorgiamo che non è sufficiente controllare l'umidità ambientale, ma è fondamentale monitorare quella della nicchia ecologica dove si trovano gli individui. Infatti, la regolazione dell'umidità ambientale può essere tarata su un determinato livello, ma la densità di popolazione, l'idratazione del substrato alimentare, gli scambi gassosi degli stessi insetti ne possono determinare un notevole innalzamento a livello di micro-nicchie. Inoltre, ci possono essere esigenze diverse in conseguenza dello stadio attraversato dallo stesso insetto e, frequentemente, ci troviamo in situazioni in cui, nello stesso ambiente, sono allevati insetti che sovrappongono fasi diverse del loro ciclo vitale. Ricordiamo che in pieno campo gli insetti sono liberi di cercare il microclima più adatto e che vicino al terreno troveranno un'umidità più elevata, ad esempio, che sull'apice di un ramo distante dal suolo. Possiamo adottare analogo ragionamento per la temperatura, il fotoperiodo, l'intensità e la lunghezza d'onda delle fonti luminose, senza contare le eventuali contaminazioni dell'aria. Per quanto riguarda gli insetti stessi, la composizione genetica della

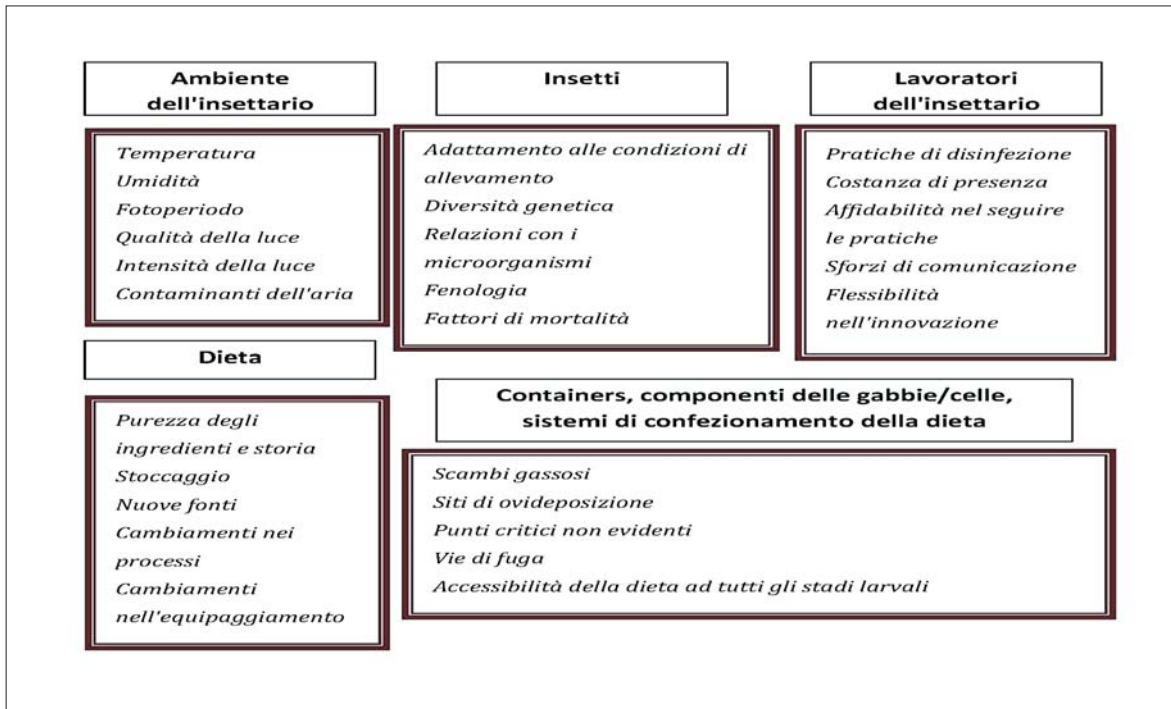


Fig. 1 – Criticità dell'allevamento industriale di larga scala compiuto in un insettario (tradotto e riadattato da COHEN, 2004).

popolazione presente nell'allevamento su larga scala è un'altra fonte di criticità. La taglia della colonia d'insetti e il pool genetico sono relativamente ristretti quando, per dare inizio all'allevamento industriale, si prelevano da poche centinaia a poche migliaia d'individui. Questi individui sono a loro volta un sottogruppo della popolazione di campo di una determinata località, perciò una frazione molto limitata della popolazione totale della specie oggetto d'interesse. Una volta in cattività, c'è un'ulteriore selezione degli individui che sopravvivono alle nuove condizioni ambientali, fortemente semplificate rispetto alle naturali. L'accoppiamento è solitamente limitato agli individui che si trovano in una stessa gabbia/contenitore e non libero fra tutti gli individui dell'allevamento, a meno che non si prevedano particolari protocolli per la riproduzione e il mantenimento dello stock d'insetti. Altre forti criticità sono rappresentate dai rapporti con i microrganismi (m.o.). Infatti, gli insetti hanno una relazione con i m.o. che comprende molti aspetti diversi: 1) i m.o. possono essere in simbiosi (commensalismo – mutualismo); 2) possono essere parassiti o patogeni degli insetti; 3) contaminanti della dieta o di altri materiali d'allevamento. I m.o. simbiotici possono essere fondamentali nel determinare l'appropriato sfruttamento del substrato alimentare, come pure lo stato sanitario dell'insetto e, in taluni casi, può essere necessario procedere addi-

rittura a inoculi selettivi. D'altronde i m.o. patogeni e contaminanti possono costituire un serio problema, provocando epidemie diffuse con esiti distruttivi per l'allevamento e devono essere costantemente monitorati. In particolare, è necessario capire quali possono essere le vie preferenziali d'entrata dei m.o. dannosi nell'insettario. Le principali fonti di contaminazione in un allevamento industriale sono: 1) i contaminanti del substrato alimentare all'origine; 2) le contaminazioni del substrato alimentare successive all'introduzione nell'allevamento e dovute ai diversi trattamenti e allo stoccaggio; 3) i m.o. introdotti dal personale o dal sistema di ventilazione dell'aria; 4) l'inoculo derivante dagli insetti stessi. Per quanto riguarda la nutrizione degli insetti, una delle principali criticità dell'allevamento su larga scala è costituita dal fatto che quando si formula una dieta per l'alimentazione dell'insetto si rinuncia di solito ad avere piante vive nell'adatto stato fenologico o prede vive od ospiti per parassiti o predatori, ma si rimpiazzano con miscele di prodotti che si hanno in stock. Generalmente il cibo per gli insetti subisce trattamenti, quali: riduzione di taglia, mescolamento, e riscaldamento ad alta temperatura. Alcuni minerali come ferro, rame, zinco, manganese (distruttivi nei confronti degli acidi grassi polinsaturi della dieta) sono posti a diretto contatto con i lipidi stessi. Gli zuccheri raffinati e proteine sono mischiati e riscaldati for-

mando complessi indigeribili con le reazioni di Maillard. Gli enzimi distruttivi sono liberati dai loro compartimenti naturali inducendo ossidazione e idrolisi dei nutrienti e spesso estraendo inavvertitamente sostanze antinutrizionali. Una volta ottenuta un'equilibrata composizione alimentare del mangime è fondamentale che questo rimanga costante nel tempo e standardizzate le fonti. In caso di cambiamento di fonte d'approvvigionamento è necessario compiere test preliminari e apportare le necessarie correzioni determinate dalla variazione anche di un solo ingrediente. Il fattore umano è pure fondamentale nell'allevamento e determina l'accuratezza di ogni operazione, la capacità di reazione di fronte a situazioni inusitate, individuando strategie adeguate, l'igiene e lo standard qualitativo generale. Anche la struttura d'allevamento può mostrare punti critici, che sarà cura del personale individuare e correggere, o, se ciò non può essere fatto, monitorare frequentemente.

IPOTESI DI FILIERE PRODUTTIVE

Una grande enfasi è stata posta, in tempi recenti sull'allevamento sostenibile d'insetti su materiale organico (ad esempio letame, liquame suino, compost). L'allevamento d'insetti su rifiuti biodegradabili parrebbe una pratica molto auspicabile per trovare un impiego eco-compatibile per i rifiuti stessi e abbattere i costi di produzione, disponendo di una risorsa a costo zero per l'alimentazione delle specie in grado di vivere su tali scarti (insetti saprofiti). Gli insetti, dopo trattamento, potrebbero diventare alimento per gli animali d'interesse zootecnico, la cui carne sarebbe poi venduta al consumatore. A livello internazionale ci si è concentrati, in tempi recenti, su poche specie, sostanzialmente tre: la mosca soldato (*Hermetia illucens*), la mosca comune (*Musca domestica*) e la tarma della farina (*Tenebrio molitor*) come bioconvertitori organici dotati di grande efficienza. Per quanto riguarda *M. domestica*, nel 2004, ha avuto inizio un progetto europeo LIFE, "Ecodiptera", con la finalità di riutilizzare il letame suino. Sono state utilizzate larve di mosche per trasformare il letame in fertilizzante e proteine, poiché dal sottoprodotto dell'alimentazione dell'insetto si è ottenuto un concime adatto alla fertilizzazione in agricoltura e con meno problemi di contaminazione ambientale rispetto ai liquami suini, mentre dall'allevamento delle mosche sono state ottenute pupe, che avevano la finalità dell'impiego in acquacoltura (anche se attualmente non consentito dalla legislazione

Europea). Una società del SudAfrica (Agri-protein) ha iniziato la produzione di mosche per ottenere mangime. Enviroflight, è invece una ditta statunitense che usa il grano essiccato dei distillatori con sostanze solubili provenienti dagli impianti di etanolo e da birrifici per l'allevamento della mosca soldato *H. illucens* (VAN HUIS *et al.*, 2013)

In generale, tutti questi processi di produzione di proteine per l'alimentazione animale o umana da insetti saprofiti devono essere attentamente valutati, per alcuni fattori: 1) salute umana (limiti legislativi posti dal loro utilizzo nell'alimentazione animale per i m.o. patogeni potenzialmente trasmessi o i residui di fitofarmaci o altri prodotti chimici o metalli pesanti); 2) costanza e facile reperibilità del materiale di scarto, costo di trasporto, semplicità ed economicità del trattamento pre-alimentazione. In Olanda vengono allevati i grilli, sia per l'alimentazione umana, sia per quella dei "pet animals". Nel caso dei grilli, i mangimi in generale forniti agli insetti sono di buona qualità e, quindi, il costo della farina d'insetti è comparabile a quello di un mangime zootecnico, anche se l'efficienza di conversione è maggiore. Altre filiere d'insetti che si alimentano su piante (ad esempio il baco da seta) o xilofagi, possono essere valutati per la loro sostenibilità ambientale ed economica.

ESEMPIO DI UNA FILIERA PRODUTTIVA "MADE IN ITALY"

Alcuni insetti, meglio di altri, si prestano a instaurare delle filiere produttive per l'alimentazione (CAPPELLOZZA, 2013). Ad esempio, baco da seta e ape sono domesticati da millenni; l'uomo ha, perciò, instaurato con essi un rapporto di profonda conoscenza. Innanzitutto di entrambi questi insetti l'uomo ha sequenziato tutto il DNA ed essi sono utilizzati da secoli come modelli biologici; abbiamo familiarità con la loro fisiologia e sappiamo quali condizioni li portano a prosperare e produrre al massimo delle loro possibilità. Il baco da seta ha un tasso di crescita rapidissimo: in meno di un mese aumenta circa 8.000 volte di volume e 6.000 di peso. Vive ad altissime densità di popolazione e le larve sono capaci anche di comportamenti "sociali" intesi a mantenere igienico l'ambiente in cui vivono. Gli individui malati cercano di isolarsi dal resto della comunità e vanno a morire lontano: questo comportamento, che in natura diffonde i virus nell'ambiente, in un allevamento diminuisce la possibilità di trasmettere le infezioni ad altre larve; *B. mori* ha altissima capacità di ovi-

deposizione (circa 600 uova per farfalla). Mostra un'altissima variabilità genetica e da tempo esistono banche di germoplasma per il mantenimento dei genotipi diversi di baco da seta in purezza; l'uomo è anche in grado di selezionare gli individui portatori di caratteristiche utili. L'allevamento del baco da seta si presta all'alimentazione con dieta artificiale e meccanizzazione; *B. mori* è consumato come alimento, sotto forma di larva e crisalide, da millenni da parte dell'uomo e degli animali. L'Italia ha il vantaggio di potere disporre delle razze da cui partire come stock genetico con la banca di germoplasma (CAPPELLOZZA *et al.*, 2013) conservata presso il Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria, Unità di Ricerca di Apicoltura e Bachicoltura (CRA-API), sede di Padova e le può differenziare a seconda del prodotto finale che si vuole ottenere. Non solo, in Veneto, sta attualmente ripartendo una filiera di allevamento che potrebbe risultare a duplice attitudine produttiva, corteccia serica e crisalide. La corteccia serica può trovare applicazione sia nella cosmesi, sia nella cardatura, mentre le crisalidi possono essere utilizzate come tale, sotto forma di sfarinato o dopo estrazione dell'olio per finalità farmaceutiche, come farina proteica (FAO, 2003). Il MIPAAF ha recentemente approvato un disciplinare per la gelsibachicoltura biologica (<http://www.icea.info/it/news/article/1226-nasce-la-seta-bio-e-la-certifica-icea>) (marzo 2015), cosicché il baco da seta potrebbe rappresentare una filiera made in Italy e biologica, in cui la crisalide, e prodotti da essa derivati, potrebbe essere utilizzata per l'alimentazione animale e anche per quella umana, una volta stabiliti gli standard produttivi industriali. Il CRA-API di Padova ha avviato tutte le pratiche per essere riconosciuto come il primo centro mondiale dove si producono uova di baco da seta biologiche, indispensabile materia prima per avviare tutto il ciclo produttivo biologico da parte degli agricoltori. Inoltre, in Veneto, sta già ripartendo la produzione di baco da seta a livello degli agricoltori e la trattura della seta.

RIASSUNTO

L'allevamento industriale di insetti su larga scala è un processo abbastanza recente, che presenta alcune caratteristiche peculiari, che lo contraddistinguono da altre attività di allevamento degli insetti praticate in tempi più antichi. In particolare, le dimensioni dell'allevamento, la continuità dell'allevamento nel tempo, la sostenibilità economica del processo, in comparazione ad altre analoghe produzioni agricole, una gestione moderna ed efficiente da parte dello staff sono tratti distintivi. Nell'articolo alcuni punti critici fondamentali della tecnica e la scelta della specie vengono, altresì, discusse e il baco da seta *Bombyx mori* è proposto come la specie più conveniente per una filiera di produzione d'insetti "made in Italy" per l'alimentazione di animali e uomo.

BIBLIOGRAFIA

- CAPPELLOZZA S., 2010 – *Manuale di buona pratica agricola*. https://www.politicheagricole.it/flex/files/8/7/c/D.60d46250dbc0314586d7/manuale_pratica_bach.pdf
- CAPPELLOZZA S., 2013 – *Insetti come cibo: tradizione esotica o opportunità per il nostro futuro?* – Analysis, 3-4: 1-10.
- CAPPELLOZZA S., SAVIANE A., TOSO L., 2013 - *La collezione di germoplasma di baco da seta (Bombyx mori L.) appartenente all'Unità di Apicoltura e Bachicoltura di Bologna, sede di Padova*. In: Conservazione biodiversità, gestione banche dati e miglioramento genetico. Biodati, D'Andrea F., Edizioni Nuova Cultura, Roma, 2: 961-990
- COHEN A. C., 2004 – *Insect diets. Science and Technology*. CRC Press, 324 pp.
- CONTESSI A., 2010 – *Le api. Biologia, allevamento, prodotti*. Edagricole, XXV-497 pp.
- FAO, 1995 – *Non-Wood Forest Products 4. Natural colourants and dyestuffs*. <http://www.fao.org/docrep/v8879e/V8879e00.htm>
- FAO, 2003 - *Conservation Status of Sericulture Germplasm Resources in the World - II. Conservation Status of Silkworm (Bombyx mori) Genetic Resources in the World*. <http://www.fao.org/docrep/005/ad108e/ad108e00.htm#Contents>
- GON S.M., PRICE O.E., 1984 – *Invertebrate Domestication: Behavioral Considerations*. - Bioscience, 34 (9): 575-579.
- KOK R., 1983 – *The production of insect as human food*. - Can. Inst. Food Sc. Technol. J., 16 (1): 5-18.
- 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), 187 pp.

UTILIZZO DI INSETTI COME BIOTRASFORMATORI: DALLO SCARTO ALIMENTARE ALLA PRODUZIONE DI PROTEINE ANIMALI PER LA MANGIMISTICA

MORENA CASARTELLI (*) - GIANLUCA TETTAMANTI (**)

(*) *Dipartimento di Bioscienze, Università degli Studi di Milano, via Celoria 26, 20133 Milano; e-mail: morena.casartelli@unimi.it*

(**) *Dipartimento di Biotecnologie e Scienze della Vita, Università degli Studi dell'Insubria, via Dunant 3, 21100 Varese. gianluca.tettamanti@uninsubria.it*

Lettura tenuta durante la Seduta pubblica dell'Accademia Nazionale Italiana di Entomologia su "Gli Insetti: una risorsa sostenibile per l'alimentazione" - Firenze, 16 gennaio 2015.

Use of insects in bioconversion processes: from food waste to protein production for animal feed

In the years to come it will be mandatory to face the crucial problem of feeding the constantly increasing world population avoiding or limiting the depletion of food resources, the unsustainable exploitation and exhaustion of agricultural land and water, and the environmental pollution due to the increased waste production and greenhouse gas emission. The higher demand for human food, and more specifically for animal proteins, requires an increasing production of feeds for livestock, poultry and aquaculture, all of which largely rely on fish and soybean meal as essential additives. Another serious concern is represented by food waste disposal: one third of all food produced globally is wasted, amounting to 1.3 billion tons per year and inadequate waste treatment in developing countries is a serious source of pollution. These critical challenges require innovative solutions and the development of novel approaches towards recognition of new biological resources, new production and consumption cycles, and novel waste processing, recycling and disposal.

In addition to their use as a regular food supplement in eastern countries, insects must be considered as a high potential source of animal protein for feed production as well as a primary agent for organic waste reduction and bioconversion into usable proteins. In view of this remarkable potentiality, studies in basic and applied entomology, biology, science of nutrition, animal production science and aquaculture must produce a solid platform of knowledge useful to develop new high technological industrial processes.

KEY WORDS: Insect meal, feed production, livestock, aquaculture, waste management.

INTRODUZIONE

Gli insetti rappresentano un'importante fonte di nutrimento per l'uomo in molte regioni dell'Asia, dell'America Latina e dell'Africa, dove vengono consumati da circa due miliardi di persone. In queste zone, gli insetti utilizzati come alimento vengono raccolti in natura, sebbene nel Sud-Est asiatico esistano esempi di allevamento su larga scala di Ortotteri per consumo umano (VAN HUIS *et al.*, 2013). Più comune è la pratica della semi-coltivazione o produzione naturale migliorata, utilizzata da differenti popolazioni indigene per creare condizioni ottimali per la riproduzione, la deposizione delle uova e lo sviluppo delle specie di insetto abitualmente consumate, in modo da poterle poi raccogliere più agevolmente e in abbondante quantità (VAN HUIS *et al.*, 2013). Gli insetti più consumati a livello mondiale appartengono agli ordini di: Coleotteri (31%), Lepidotteri (18%) Imenotteri (14%), Ortotteri (13%), Emittteri (10%), Isotteri (3%), Odonati (3%),

Ditteri (2%) (VAN HUIS *et al.*, 2013). Nella maggior parte dei Paesi occidentali l'entomofagia è invece considerata una pratica primitiva e la sola idea di consumare insetti a scopo alimentare suscita disgusto. Questo atteggiamento è legato essenzialmente alla cultura che nel corso dei secoli si è affermata in queste regioni, influenzata dalla storia, dalla struttura politico-sociale e dallo sviluppo economico. Negli ultimi anni, però, anche nei Paesi occidentali si è iniziato a considerare l'importanza degli insetti commestibili, soprattutto come fonte di proteine da utilizzare per la produzione di mangimi. Questo cambiamento di rotta è da imputare a diversi fattori. Il consumo mondiale di carne e pesce è in costante aumento (VAN HUIS, 2013; VAN HUIS *et al.*, 2013) e questo richiede necessariamente un aumento della produzione dei mangimi impiegati per l'allevamento. Attualmente le farine di pesce e di soia rappresentano le principali fonti proteiche utilizzate per la loro produzione e l'aumento della richiesta di queste materie prime ha determinato un drastico

umento del loro prezzo. Inoltre, la loro produzione sfrutta risorse impiegate anche per l'alimentazione umana e ha un grosso impatto sull'ambiente (PELLETIER e TYEDMERS, 2010; STEINFELD e GERBER, 2010). Ciò impone di individuare fonti proteiche alternative e, in questo contesto, gli insetti possono rappresentare una concreta alternativa (VAN HUIS *et al.*, 2013).

Un importante criterio da considerare per stabilire se una determinata fonte possa rappresentare una valida materia prima per la produzione di mangimi è il contenuto in proteine. Numerosi studi, riassunti in recenti pubblicazioni (MAKKAR *et al.*, 2014; SANCHEZ-MUROS *et al.*, 2014), hanno evidenziato che molte specie di insetto hanno un elevato contenuto in proteine, paragonabile a quello presente nelle farine di pesce o di soia. Tali proteine possiedono un'ottima qualità nutrizionale poiché ricche in amminoacidi essenziali, tra cui lisina, metionina e leucina, solitamente carenti nelle fonti proteiche vegetali convenzionali. A questo va aggiunto che gli insetti presentano un'elevata efficienza di conversione del cibo ingerito, di gran lunga superiore a quella di bovini, suini o ovini (VAN HUIS, 2013; VAN HUIS *et al.*, 2013), che il loro allevamento non necessita di ampi spazi, richiede un basso consumo di acqua e determina ridotte emissioni di gas serra e ammoniaca (OONINCX *et al.*, 2010; OONINCX e DE BOER, 2012). Inoltre, alcuni insetti sono saprofiti e possono crescere su materia organica in decomposizione, trasformando così un materiale di rifiuto in fonte di proteine animale. Questo aspetto è particolarmente interessante perché è stato stimato che un terzo del prodotto della filiera agro-alimentare mondiale (pari a circa 1,3 miliardi di tonnellate l'anno) viene oggi perso o eliminato come scarto (GUSTAVSSON *et al.*, 2011) e la valorizzazione di questa enorme quantità di materia organica attraverso la sua biotrasformazione in proteine animali con alto valore nutrizionale è una prospettiva sicuramente stimolante.

Sono diverse le specie di insetto ritenute interessanti per la produzione di mangimi. Su di esse sono stati condotti studi, e altri sono tuttora in corso, per comprenderne al meglio la biologia, valutarne la capacità di crescita su differenti substrati ed analizzare la qualità della farina ottenuta in termini di contenuto in macro- e micronutrienti e di sicurezza igienico-sanitaria. Qui di seguito vengono elencate le principali.

MOSCA SOLDATO NERA (*HERMETIA ILLUCENS*)

Questo dittero, originario delle regioni tropicali, subtropicali e temperate dell'America, è oggi diffuso in tutte le regioni della Terra comprese tra

il 45° parallelo Nord e il 40° parallelo Sud (MAKKAR *et al.*, 2014). Le larve sono estremamente voraci (consumano quotidianamente una quantità di substrato alimentare pari al doppio del loro peso) e possono crescere su differenti rifiuti organici, tra cui scarti dell'industria agroalimentare e dei processi agricoli, reflui zootecnici, rifiuto umido urbano, riducendone in modo significativo la massa (DIENER *et al.*, 2009, KALOVA e BORKOVCOVA, 2013; SHEPPARD *et al.*, 1994; ST-HILAIRE *et al.*, 2007; VAN HUIS *et al.*, 2013). Il suo ciclo di sviluppo è relativamente veloce: in condizioni ideali di temperatura e umidità lo stadio larvale ha una durata media di 2 mesi, quello pupale di 2 settimane, mentre l'adulto si accoppia 48 ore dopo lo sfarfallamento e ovidepone entro pochi giorni (MAKKAR *et al.*, 2014). L'adulto non è vettore di malattie e non si alimenta, altre due caratteristiche interessanti di questo insetto. È stato anche dimostrato che le larve alimentate su letame sono in grado di modificarne la microflora, riducendo la carica di batteri come *Escherichia coli* e *Salmonella enterica* (ERICKSON *et al.*, 2004): ciò è probabilmente legato alla capacità di questi insetti di produrre peptidi antimicrobici particolarmente efficaci nei confronti di differenti ceppi batterici (MAKKAR *et al.*, 2014). Numerosi studi hanno evidenziato che la farina ottenuta dallo stadio prepupale di questo insetto presenta un elevato contenuto in proteine ad alto valore nutrizionale, paragonabile a quello presente nelle farine di pesce e di soia (riassunti da MAKKAR *et al.*, 2014). Tali farine sono state impiegate come materia prima per la produzione di mangimi per l'allevamento di differenti animali quali polli, maiali, trota iridea, pesce gatto, tilapia e salmone con risultati assolutamente soddisfacenti (MAKKAR *et al.*, 2014). Nel caso del mangime utilizzato per l'acquacoltura sono riportati dati molto incoraggianti poiché, utilizzando percentuali di sostituzione della farina di pesce pari al 25, 50 e 100%, le specie allevate hanno mostrato buone performance di crescita e nessuna variazione negli indici istologici o nella qualità del filetto (MAKKAR *et al.*, 2014).

MOSCA DOMESTICA (*MUSCA DOMESTICA*)

Questo insetto, diffuso in tutto il mondo, può essere allevato su letame e rifiuti organici in decomposizione. Le femmine depongono fino a 2000 uova e il ciclo di sviluppo è estremamente rapido: in condizioni controllate, dalla schiusa al termine dell'età pupale trascorrono solo 6 giorni (MAKKAR *et al.*, 2014). Sebbene sia stato dimo-

strato che le larve rappresentano un adeguato ingrediente per i mangimi utilizzati per l'allevamento di pollame, di alcune specie di pesce, come tilapia o pesce gatto, e di crostacei, dove può sostituire parte della farina di pesce, il contenuto in proteine è piuttosto variabile (tra il 40% e il 60% del peso secco) (MAKKAR *et al.*, 2014). L'utilizzo di questo insetto genera però non poche perplessità poiché l'adulto è vettore di patogeni e le larve si alimentano su un substrato particolarmente a rischio. Pertanto, per l'utilizzo della mosca domestica nell'ambito della produzione di farine, risulta indispensabile un approfondito studio in ambito batteriologico, micologico e tossicologico.

TARME DELLA FARINA

(*TENEBRIO MOLITOR*, *TENEBRIO OBSCURUS*)

Questi insetti sono diffusi in tutto il mondo e hanno un ciclo di sviluppo piuttosto lungo, che può durare fino a diversi mesi. L'allevamento di queste specie è però relativamente semplice e si sono ottenuti ottimi risultati di crescita utilizzando materiale vegetale di scarto come substrato (MAKKAR *et al.*, 2014). È stato dimostrato che la farina ottenuta da questi insetti può essere utilizzata con successo per l'allevamento di pollame e pesci (pesce gatto, orata, branzino, trota) (MAKKAR *et al.*, 2014).

LOCUSTE, CAVALLETTE E GRILLI

Sono stati eseguiti studi su differenti specie di Ortoteri e messi a punto allevamenti su larga scala di differenti specie di cavallette, tra cui *Oxya fuscovittata* e *O. hyla*. È stato dimostrato che esse presentano un elevato valore nutrizionale che, insieme agli elevati tassi di fecondità e fertilità, rendono questi insetti adatti alla produzione di mangimi (DAS *et al.*, 2009; 2012a; 2012b). Tra i grilli, *Acheta domesticus* è relativamente facile da allevare, non necessita di ampi spazi (circa 2000 insetti possono crescere su una superficie pari a un metro quadrato), è onnivoro, svolge 6-7 generazioni ogni anno e il contenuto in proteine è particolarmente elevato (55-67% del peso secco) (MAKKAR *et al.*, 2014).

I dati che ad oggi abbiamo a disposizione sono sicuramente importanti e incoraggianti, ma rappresentano solo il punto di partenza. Per fare una corretta valutazione della potenzialità degli insetti come biotrasformatori, da cui ricavare la materia

prima per la produzione di mangimi, occorre innanzitutto tenere presente la possibilità di allevare su larga scala le specie di interesse, le quali devono quindi presentare alcune caratteristiche quali:

- capacità di crescita su substrato alimentare di scarso valore, derivante da scarti dei processi di produzione;
- elevato tasso di conversione del substrato alimentare in biomassa;
- basso tasso di mortalità degli stadi giovanili;
- breve ciclo di sviluppo;
- elevato potenziale riproduttivo;
- capacità di vivere ad alta densità;
- elevata qualità nutrizionale;
- ridotta vulnerabilità alle malattie.

Altri fattori, non meno importanti, che devono essere considerati nel caso di allevamenti su scala industriale, sono: la possibilità di effettuare allevamenti basati su processi di automazione, riducendo l'impiego di mano d'opera e abbattendo i costi di produzione; lo sviluppo di piani di miglioramento genetico della specie per l'ottenimento di linee altamente produttive; la definizione di strategie di contenimento se la specie è allevata in aree non endemiche.

Per rispondere alla crescente domanda nel settore dell'alimentazione animale esistono già in Europa esempi di aziende che hanno sviluppato su scala industriale l'allevamento di specie di insetti quali *H. illucens* e *M. domestica*, mentre sul fronte della ricerca diversi progetti sono stati finanziati da agenzie nazionali o da programmi della Comunità Europea. Anche in Italia negli ultimi anni la comunità scientifica si sta interessando al possibile impiego di insetti nella produzione di mangimi per animali d'allevamento, principalmente pesci e specie avicole. Differenti Università e Centri di Ricerca (tra cui Università degli Studi di Camerino, Università degli Studi di Firenze, Università degli Studi di Messina, Università degli Studi di Napoli Federico II, Università degli Studi di Torino, Università degli Studi della Tuscia, CNR di Torino, CNR di Messina) sono coinvolti in progetti in cui vengono utilizzate soprattutto *H. illucens* e *T. molitor*. Recentemente è stato finanziato da Fondazione Cariplo, nell'ambito del Bando 2014 "Ricerca integrata sulle biotecnologie industriali", un progetto dal titolo "Insect Bioconversion: from vegetable waste to Protein production for fish Feed (InBioProFeed)" in cui sono coinvolte l'Università degli Studi dell'Insubria, l'Università degli Studi di Milano e il CRA-API di Padova. I principali obiettivi del progetto sono:

1) Standardizzazione dell'allevamento di *H. illu-*

cens su materiale di scarto di origine vegetale, derivante dal comparto ortofrutticolo. Ciò permetterà di individuare le condizioni ottimali per ottenere la migliore crescita dell'insetto, la massima riduzione dello scarto e la migliore efficienza di conversione del substrato. Occorre tenere presente che nella maggior parte degli studi eseguiti fino ad ora per l'allevamento di questo insetto è stato utilizzato materiale organico di scarto quale letame o rifiuto umido urbano, mentre sono limitate le informazioni sulla possibilità di allevare *H. illucens* su scarti di origine vegetale (KALOVA e BORKOVCOVA, 2013), un substrato di crescita caratterizzato da un migliore profilo igienico-sanitario.

- 2) Individuazione di marcatori morfologici, molecolari e funzionali da utilizzare come marker diagnostici per monitorare la crescita, lo sviluppo e la salute degli insetti in allevamento. Questa attività di ricerca permetterà di ottenere da un lato informazioni di base sulla biologia, la fisiologia e lo sviluppo di questo insetto, ad oggi piuttosto limitate ma indispensabili per poter sfruttare appieno le sue potenzialità per scopi applicativi, e dall'altro di costruire una solida piattaforma di conoscenze da utilizzare nel miglioramento delle metodologie di allevamento attuali, individuando marcatori diagnostici utilizzabili di routine per monitorare lo sviluppo e la salute degli insetti, un aspetto fondamentale negli allevamenti su larga scala.
- 3) Produzione della farina di insetto e valutazione delle sue qualità nutrizionali e microbiologiche. Gli studi finora eseguiti sulle specie di insetto commestibili e sulle farine da essi derivate hanno evidenziato una certa variabilità nella composizione di macro- e micro-nutrienti in relazione allo stadio di sviluppo utilizzato e al substrato su cui sono allevate; ciò rende difficile una generalizzazione circa il loro valore nutrizionale e il possibile impiego nella produzione di mangimi. Per queste ragioni sono previste una serie di azioni dedicate all'analisi dettagliata in termini di contenuto nutrizionale della farina di *H. illucens* ottenuta dagli insetti allevati su substrato vegetale; inoltre, verranno eseguiti controlli per valutare la presenza di contaminazioni batteriche durante l'intero ciclo produttivo, in modo da garantire un prodotto finale microbiologicamente sicuro.
- 4) Valutazione della performance della farina di *H. illucens* come fonte proteica per l'allevamento di trota iridea (*Oncorhynchus mykiss*). La scelta di questa specie è legata alla sua importanza nella produzione ittica italiana. Il

progetto prevede dettagliate analisi, con i metodi più innovativi nell'ambito dell'acquacoltura, sulle performance di crescita e la salute dei pesci alimentati con diete in cui la farina di pesce viene sostituita con percentuali crescenti di farina di insetto. I risultati della ricerca daranno un contributo fondamentale per lo sviluppo di nuove prospettive nell'ambito dell'acquacoltura.

- 5) Sfruttamento della biomassa residua dall'allevamento di *H. illucens* per la produzione di ammendanti. Il residuo dei rifiuti vegetali non consumato dalle larve e arricchito dagli escrementi degli insetti e dalle loro exuviae sarà analizzato per un suo possibile impiego in vermicoltura al fine di ottenere fertilizzanti. Il progetto ha quindi l'ambizioso obiettivo di valutare la possibile creazione di un sistema di produzione a ciclo chiuso, con un riutilizzo completo dei rifiuti.

In conclusione, possiamo affermare che la conoscenza dettagliata della biologia di un significativo numero di insetti che presentano le caratteristiche precedentemente elencate, del loro valore nutrizionale, della sicurezza alimentare delle farine in termini di presenza di pesticidi, metalli pesanti, tossine, patogeni, allergeni, e l'individuazione dei migliori substrati di scarto su cui è possibile mettere a punto l'allevamento, rappresenteranno una solida base scientifica per poter sfruttare l'enorme biodiversità degli insetti e permettere lo sviluppo di un nuovo settore industriale. Affinché questo obiettivo possa essere raggiunto, è urgente la promulgazione di leggi che regolino l'utilizzo degli insetti come materia prima per la produzione di mangimi.

RIASSUNTO

Un'impegnativa sfida per il futuro sarà quella di soddisfare le richieste alimentari di una popolazione mondiale in costante crescita, cercando di sfruttare al meglio e in modo sostenibile le risorse, i terreni coltivabili e l'acqua, limitando nel contempo l'inquinamento ambientale. Per soddisfare la richiesta crescente di cibo sarà necessario aumentare la produzione di mangimi per l'allevamento animale e far fronte al grave problema dello smaltimento dei rifiuti alimentari, dal momento che un terzo del prodotto della filiera agro-alimentare mondiale viene oggi perso o eliminato come scarto. Queste sfide cruciali richiedono soluzioni innovative e strategie volte alla ricerca di nuove risorse alimentari, alla realizzazione di nuovi cicli di produzione e di consumo, e alla progettazione di nuovi sistemi per il trattamento, il riciclo e lo smaltimento dei rifiuti.

Gli insetti rappresentano una potenziale fonte di proteine animali per la produzione di mangimi e, nello stesso tempo, una soluzione per la riduzione di rifiuti organici

che possono essere biotrasformati in proteine ad elevato contenuto nutrizionale. Considerate queste notevoli potenzialità, la ricerca scientifica nel campo dell'entomologia di base ed applicata, della biologia, delle scienze della nutrizione, delle produzioni animali e dell'acquacoltura può fornire una solida base di conoscenze da cui sarà successivamente possibile sviluppare nuovi processi industriali ad elevato contenuto tecnologico.

BIBLIOGRAFIA

- DAS M., GANGULY A., HALDAR P., 2012a - *Annual biomass production of two acridids (Orthoptera: Acrididae) as alternative food for poultry*. Spanish J. Agric. Res., 10: 671-680.
- DAS M., GANGULY A., HALDAR P., 2012b - *Effect of food plants on nutritional ecology of two acridids (Orthoptera: Acrididae) to provide alternative protein supplement for poultry*. Turk. J. Zool., 36: 699-718.
- DAS M., GANGULY A., HALDAR P., 2009 - *Space requirement for mass rearing of two common Indian acridid adults (Orthoptera: Acrididae) in laboratory condition*. Am.-Eur. J. Agric. Environ. Sci., 6: 313-316.
- DIENER S., ZURBRUGG C., TOCKNER K., 2009 - *Conversion of organic material by black soldier fly larvae: establishing optimal feeding rates*. Waste Manage. Res., 27: 603-610.
- ERICKSON M.C., ISLAM M., SHEPPARD C., LIAO J., DOYLE M.P., 2004 - *Reduction of Escherichia coli O157:H7 and Salmonella enterica serovar Enteritidis in chicken manure by larvae of the black soldier fly*. J. Food Prot. 67: 685-690.
- GUSTAVSSON J., CEDERBERG C., SONESSON U., VAN OTTERDIJK R., MEYBECK A., 2011 - *Global food losses and food waste: extent, causes and prevention*. FAO, Rome.
- KALOVA M., BORKOVCOVA M., 2013 - *Voracious larvae Hermetia illucens and treatment of selected types of biodegradable waste*. Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis. 61: 77-83.
- 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., 197: 1-33.
- OONINCX D.G.A.B., DE BOER I.J.M., 2012 - *Environmental impact of the production of mealworms as a protein source for humans. A life cycle assessment*. PLoS ONE, 7: e51145.
- OONINCX D.G.A.B., VAN ITTERBEECK J., HEETKAMP M.J.W., VAN DEN BRAND H., VAN LOON J.J.A., VAN HUIS A., 2010 - *An exploration on greenhouse gas and ammonia production by insect species suitable for animal or human consumption*. PLoS ONE, 5: e14445.
- PELLETIER N., TYEDMERS P., 2010 - *Forecasting potential global environmental costs of livestock production 2000-2050*. Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 107: 18371-18374.
- SÁNCHEZ-MUROS M.J., BARROSO F.G., MANZANO-AGUGLIARO F., 2014 - *Insect meal as renewable source of food for animal feeding: a review*. J. Clean. Prod., 65: 16-27.
- SHEPPARD D.C., NEWTON G.L., THOMPSON S.A., SAVAGE S., 1994 - *A value added manure management system using the black soldier fly*. Bioresour. Technol., 50: 275-279.
- STEINFELD H., GERBER P., 2010 - *Livestock production and the global environment: Consume less or produce better?* Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 107: 18237-18238.
- ST-HILAIRE S., CRANFILL K., MCGUIRE M.A., MOSLEY E. E., TOMBERLIN J.K., NEWTON L., SEALEY W., SHEPPARD C., IRVING S., 2007 - *Fish offal recycling by the black soldier fly produces a foodstuff high in omega-3 fatty acids*. J. World Aquacult. Soc., 38: 309-313.
- VAN HUIS A., 2013 - *Potential of insects as food and feed in assuring food security*. Annu. Rev. Entomol., 58: 563-583.
- 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 Vol. 171.

COSTI E BENEFICI DELL'ENTOMOFAGIA: SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE DELL'ALLEVAMENTO DI INSETTI SU LARGA SCALA

ANNA MARIA FAUSTO (*) - ROMOLO FOCHETTI (*) - MARZIO ZAPPAROLI (*) - PIER PAOLO DANIELI (**)

(*) Dipartimento per la Innovazione nei sistemi Biologici, Agroalimentari e Forestali (DIBAF), Università degli Studi della Tuscia, Via San Camillo de Lellis s.n.c., 01100 Viterbo; e-mail: fausto@unitus.it

(**) Dipartimento di scienze e tecnologie per l'Agricoltura, le Foreste, la Natura e l'Energia (DAFNE), Università degli Studi della Tuscia, Via San Camillo de Lellis s.n.c., 01100 Viterbo

Lettura tenuta durante la Seduta pubblica dell'Accademia Nazionale Italiana di Entomologia su "Gli Insetti: una risorsa sostenibile per l'alimentazione" - Firenze, 16 gennaio 2015.

Costs and benefits of entomophagy: environmental sustainability of intensive insect farming

At least 1,900 insect species are presently used as food in the world, mainly in Asia, Africa, Australia and Latin America. Their value as food is usually high and, as far as we know, insects proved to be more efficient than conventional farmed species in terms of conversion of food into body weight. Therefore there is a growing interest in insect mass rearing as an alternative food source, not only for humans but especially farmed animals. Although many positive aspects on the use of insects as food are now well defined (high coefficient of feed conversion, reduced water needs, high adaptability to grow on low value substrates, reduced greenhouse gases emission) the literature on this subject is still scarce, above all on what deals with the assessment of environmental performances, while the estimate of the reduction of the environmental impact compared to the other sources of dietary proteins is still in its embryonic phase.

Here we present a short summary on the state of the art of insects mass rearing, in order to stress both advantages and knowledge gaps, especially on what deals with farming impacts (either on small or on large scale) and on biodiversity conservation.

KEY WORDS: edible insects, massive production, *food & feed*, environmental performances

INTRODUZIONE

Attualmente, almeno 1.900 specie di insetti sono utilizzate per l'alimentazione umana, prevalentemente in Asia, Africa, Australia, America Latina (ANANKWARE *et al.*, 2015).

Il loro contenuto di proteine è in effetti molto elevato, talora superiore al 60% del peso secco; il contenuto di grassi varia invece sensibilmente da specie a specie e in base alla dieta; non è poi da trascurare il contenuto di fibre, di minerali e di vitamine (vedi tra gli altri PREMALATHA *et al.*, 2011; BELLUCO *et al.*, 2013; RUMPOLD & SCHLÜTER, 2013; VAN HUIS, 2013; SÁNCHEZ-MUROS *et al.*, 2014).

Queste caratteristiche rendono gli insetti un'interessante fonte alimentare, non solo per l'uomo ma soprattutto per gli animali di interesse zootecnico (SÁNCHEZ-MUROS *et al.*, 2014). I pochi lavori sull'argomento mostrano la grande potenzialità di utilizzo degli insetti in questo settore.

D'altra parte, secondo l'Organizzazione delle Nazioni Unite per l'Alimentazione e l'Agricoltura (*Food and Agriculture Organization of the United*

Nations, FAO), l'allevamento degli insetti per alimentazione umana e/o animale è ritenuta una delle alternative più promettenti all'attuale approvvigionamento di proteine di origine animale (VAN HUIS *et al.*, 2013).

È comprensibile quindi come, con la crescente consapevolezza del valore alimentare degli insetti, sia conseguentemente aumentato l'interesse per il loro allevamento massale. Occorre infatti specificare che, sebbene molti insetti utilizzati come alimento siano raccolti in natura, alcune specie vengono allevate in aree stabilite, isolate dagli ambienti naturali, in condizioni controllate (*e.g.*, PAOLETTI, 2005).

ALLEVAMENTO MASSALE DI INSETTI PER PRODUZIONE *FOOD & FEED*

Allo stato attuale, i sistemi di produzione di insetti su larga scala sono molto costosi. MEUWISSEN (2011) ha stimato che la produzione di larve di *Tenebrio molitor* Linnaeus, 1758 (Coleoptera,

Tenebrionidae) è circa cinque volte economicamente più onerosa di quella del pollo. Inoltre, sono necessarie ulteriori ricerche per ampliare le conoscenze su numerosi aspetti, dalle proprietà nutritive delle specie utilizzabili, alla caratterizzazione e alla standardizzazione delle tecniche di allevamento per garantire risultati quali/quantitativi soddisfacenti anche su scala industriale; dall'affidabilità, costi e continuità di fornitura delle materie prime da utilizzare nell'alimentazione degli insetti, alla sicurezza, salute e tracciabilità delle filiere. In ultimo, ma non meno importante, sottolineiamo l'attenzione che andrebbe rivolta verso gli aspetti di conservazione ambientale connessi a queste nuove forme di allevamento.

A questo proposito, la consultazione tra esperti promossa dalla FAO (*Expert Consultation Meeting on Assessing the Potential of Insects as Food and Feed in Assuring Food Security*), tenutasi a Roma nel gennaio 2012 (VANTOMME *et al.*, 2012), ha evidenziato la necessità di valutare con attenzione la sostenibilità ambientale connessa alla raccolta o all'allevamento degli insetti, anche rispetto ai sistemi convenzionali di produzione animale.

Il crescente interesse per l'allevamento massale degli insetti è testimoniato dall'aumento della letteratura scientifica sull'argomento che, seppur ancora limitata, al momento riguarda prevalentemente studi sulle componenti nutritive degli insetti e sullo sviluppo di ingredienti standardizzati per il settore mangimistico. I benefici associati all'uso degli insetti in questo senso sono in sintesi riconducibili alle seguenti considerazioni:

- gli insetti possono essere alimentati con sottoprodotti, scarti e rifiuti di natura organica, contribuendo così alla riduzione dei costi ambientali ed economici connessi allo smaltimento di tale frazione, trasformando al contempo i rifiuti in mangimi di elevata qualità (valorizzazione degli scarti) (*e.g.*, NEWTON *et al.*, 2005);
- gli insetti, in quanto organismi eterotermi, hanno generalmente un'elevata efficienza di conversione alimentare e possono essere consumati integralmente, non generando, a differenza di altri animali da allevamento, materiali di scarto (NIJDAM *et al.*, 2012);
- a parità di contenuto proteico ottenibile da altre fonti, l'allevamento di insetti comporta una ridotta emissione di gas ad effetto serra (GHG), minore consumo di acqua e di suolo (*land-use*), in quanto gli allevamenti sono in genere non *land-intensive* (OONINCX *et al.*, 2010);
- utilizzando gli insetti per la produzione di mangimi, si utilizzerebbe in questo settore una minore quantità di altre fonti alimentari le quali potrebbero essere indirizzate al consumo

umano, riducendo così la competizione tra le filiere *food e feed* (FAO, 2012).

PERFORMANCE AMBIENTALI DELL'ALLEVAMENTO MASSALE DI INSETTI

Anche la valutazione delle performance ambientali dell'allevamento degli insetti per alimentazione umana ed animale, intesa come stima della riduzione dell'impatto ambientale rispetto ad altre fonti proteiche, è nel complesso ancora in una fase iniziale.

Dall'analisi della letteratura scientifica emergono, infatti, profonde carenze, sia per quanto riguarda la quantificazione delle emissioni prodotte dal metabolismo degli insetti (*e.g.*, CO₂, CH₄, N₂O, NH₃) sia, di conseguenza, per ciò che attiene la stima delle performance ambientali dei sistemi intensivi d'allevamento. In tal senso, l'attuale quadro di riferimento si può ricondurre a pochi lavori specifici, come quello pionieristico di BLONK *et al.* (2008), che ha messo in evidenza una bassa emissione di CO₂ (anidride carbonica) da parte di una non meglio identificata specie di ortottero grillide, oppure il più recente studio di OONINCX *et al.* (2010) in cui sono state stimate le emissioni di CO₂, CH₄ (metano), N₂O (protossido d'azoto) e NH₃ (ammoniaca) di cinque specie di insetti, a diversi stadi di sviluppo, cresciuti su diversi substrati alimentari. Oggetto di tale studio sono stati *Tenebrio molitor*, *Acheta domesticus*, *Locusta migratoria* Linnaeus, 1758 (Orthoptera, Acrididae), *Pachnoda marginata* Burmeister, 1842 (Coleoptera, Cetoniidae) e *Blaptica dubia* Serville, 1838 (Blattodea, Blaberidae), le prime tre edibili, le altre due potenziali fonti proteiche. I risultati di questo studio hanno evidenziato che, pur con differenze significative tra le specie, le emissioni di gas ad effetto serra (CO₂, CH₄, N₂O) riferite al medesimo incremento ponderale erano dell'ordine dell'1% di quelle osservate per i ruminanti allevati. Anche la produzione di NH₃ per chilogrammo di biomassa prodotta è risultata notevolmente inferiore (3-5,4 mg/kg) se comparata con i valori noti in letteratura per i suini (4,8-75 mg/kg) ed i bovini (14-170 mg/kg).

Più recentemente, alcuni ricercatori hanno iniziato a valutare le performance ambientali dell'allevamento massale degli insetti con un approccio volto all'analisi del ciclo di vita, o *Life Cycle Assessment* (LCA), metodologia che valuta l'insieme delle interazioni che un prodotto ha con l'ambiente, dalle fasi di pre-produzione, alla dismissione finale. Tale metodologia è codificata dall'*International Organization for Standardization* (ISO) con

le Norme della serie 14040 ed è oggi alla base di riconosciuti schemi di certificazione ambientale di prodotto (e.g., *Environmental Product Declaration* – EDP) e di valutazione dell’impatto dei processi produttivi sul clima (*Carbon Footprint*) o sulle risorse idriche (*Water Footprint*).

Adottando un approccio LCA, ad esempio, OONINCX & DE BOER (2012) hanno pubblicato uno studio dettagliato inerente la stima dell’impatto ambientale in termini di riscaldamento globale, consumo di suolo agricolo ed energetico per l’allevamento massale dei Coleotteri Tenebrionidi *Tenebrio molitor* e *Zophobas morio* Fabricius, 1776, in comparazione con fonti proteiche tradizionali per alimentazione umana (latte, pollo, maiale, manzo). Tale studio ha dimostrato che il potenziale di riscaldamento globale (GWP) per l’allevamento dei due insetti, riferito alla produzione di 1 kg di proteine edibili, si attesta a 14 kg CO₂-eq¹, risultando più basso rispetto a quello delle produzioni di confronto (da un minimo di 19 kg CO₂-eq per la carne di pollo, a 175 kg CO₂-eq per quella di manzo). OONINCX & DE BOER (2012) hanno dimostrato che nell’allevamento di insetti anche il consumo di suolo (*land use*) è mediamente più basso (18 m²) rispetto a quello stimato per la produzione di latte (33-58 m²), di carne di pollo e di maiale (41-63 m²) e di carne di manzo (142-254 m²). Inoltre, l’impiego complessivo di energia per l’ottenimento di 1 kg di proteina edibile (173 MJ) è risultato paragonabile a quello riportato in letteratura per la produzione della carne di maiale (92-240 MJ), inferiore a quello necessario per la produzione di carne bovina (181-277MJ), ma superiore a quello relativo alla produzione di latte (40-140MJ) e pollame (83-153MJ). OONINCX & DE BOER (2012) sottolineano però che l’elevato consumo energetico osservato per la produzione di insetti è dovuto in larga parte alla necessità di climatizzare i locali adibiti all’allevamento.

La capacità degli insetti di utilizzare substrati a basso valore economico o che rappresentano un’esternalità ambientale negativa dell’attività antropica (e.g., rifiuti e scarti agro-industriali, prodotti di risulta delle filiere commerciali *food*, deiezioni animali) sembra estremamente promettente

al fine di ridurre il tasso di diversione delle risorse agricole (uso del suolo) e ittiche dalle filiere *food* a quelle *feed*.

NEWTON *et al.* (2005) affermano che gli insetti possono svolgere un ruolo importante nel riciclare rifiuti o altri nutrienti accumulati nell’ambiente. Secondo questi autori, *Hermetia illucens* Linnaeus, 1758 (Diptera, Stratiomyidae), una delle specie più studiate ai fini della possibile utilizzazione come prodotto alimentare, sembra essere in grado di consumare letame proveniente da allevamenti di pollame e di suini e convertirlo in biomassa larvale ricca di proteine e grassi, utilizzabile nell’allevamento animale. Tale processo potrebbe essere già commercialmente conveniente e si configurerebbe come un impatto positivo in un’analisi ambientale dei costi connessi ad uno sfruttamento a larga scala di tale proprietà.

Nello stesso senso va un lavoro di ERICKSON *et al.* (2004), dove si riporta come larve di *H. illucens* aggiunte al letame proveniente da allevamenti avicoli, sono state in grado di accelerare l’inattivazione di *Escherichia coli* O157:H7, ceppo enteremorragico che causa malattie a trasmissione alimentare (KARCH *et al.*, 2005), e di *Salmonella enterica* preventivamente inoculati nei volatili. Oltre alla possibilità di smaltire in modo rapido deiezioni solide e liquide originate da allevamenti zootecnici, gli insetti sarebbero quindi in grado di diminuirne la carica microbica, con beneficio per l’igiene ambientale e la salute umana.

Per quanto riguarda la sostenibilità ambientale dell’allevamento di insetti destinati alle filiere *feed*, VAN ZANTEN *et al.* (2014) hanno stimato l’impatto ambientale di un allevamento di larve di *Musca domestica* Linnaeus, 1758 (Diptera, Muscidae) che utilizzava come substrato di crescita una miscela di rifiuti alimentari e deiezioni avicole (pollina). Nelle condizioni di quello studio, per la produzione di un chilogrammo di proteina (proteina grezza) il potenziale di riscaldamento globale (GWP) è stato stimato pari a 1,61 kg di CO₂-eq, il fabbisogno energetico (EU) da fonti non rinnovabili pari a 1,93 MJ ed il *land use* (LU) pari a 0,06 m². Tali valori indicherebbero come la produzione di larve di *M. domestica* allevate su scarti organici (alimentari e agricolo-zootecnici) rappresenti un’opzione interessante se paragonata all’approvvigionamento proteico da farine d’estrazione di soia (GWP = 1,54 kg CO₂-eq; LU = 7,72 m²; EU = 0,85 MJ) o farina di pesce (GWP = 2,87 kg CO₂-eq; EU = 4,13 MJ) (VELLINGA *et al.*, 2013).

In una prospettiva di cambiamenti climatici, può essere importante prevedere soluzioni alternative per la produzione di proteine animali che, oltre a generare minori quantità di gas climalter-

¹ Unità convenzionale di misura dell’emissione di gas ad effetto serra che, secondo quanto stabilito dal Panel Intergovernativo per i Cambiamenti Climatici (IPCC) nel 2007, tiene conto degli indici relativi d’impatto per i gas ad effetto serra rispetto all’anidride carbonica (posto convenzionalmente pari a 1): 25 per il metano (CH₄), 298 per protossido d’azoto (N₂O), 124-14.800 per gli idrofluorocarburi (HFCs), 22.800 per l’esaffluoruro di zolfo (SF₆) e 7.390-12.200 per i perfluorocarburi (PFCs).

anti, siano anche meno dipendenti dall'acqua. Un elemento che può quindi essere considerato come impatto positivo è il ridotto consumo idrico negli allevamenti di insetti confrontato con gli allevamenti da reddito tradizionali. L'acqua è una risorsa primaria irrinunciabile la cui mancanza si sta facendo sempre più drammatica: la FAO stima che per il 2025 circa 1,8 miliardi di persone vivranno in aree con scarsità di acqua (FAO, 2012). L'agricoltura utilizza circa il 70% dell'acqua disponibile (PIMENTEL *et al.*, 2004) e la produzione convenzionale di un chilogrammo di proteine animali richiede 5-20 volte più acqua rispetto alla produzione di uno stesso quantitativo di proteine vegetali (CHAPAGAIN & HOEKSTRA, 2003). La quantità d'acqua richiesta per ottenere la stessa quantità di proteine da insetti edibili sembra essere invece molto minore. A ciò occorre aggiungere che la crescente domanda di risorse idriche ai fini della produzione di proteine alimentari metterebbe a rischio la biodiversità negli habitat delle acque interne o in quelli ad essi adiacenti, oltre a minacciare gli stessi bisogni vitali umani (VAN HUIS *et al.*, 2013).

CONSIDERAZIONI DI SINTESI, CARENZE E PROSPETTIVE

Gli strumenti di valutazione basati sulla metodologia LCA sembrano quelli che rispondono maggiormente all'esigenza di stimare correttamente le potenzialità del settore dell'allevamento di insetti a scopo alimentare, anche in comparazione con altri sistemi di allevamento tradizionale; tuttavia, la letteratura scientifica disponibile in tal senso è ancora limitata.

Tra le carenze conoscitive più importanti si evidenziano quelle relative agli aspetti conservazionistici, ad esempio sulle conseguenze del prelievo di individui in natura, sul rischio di introduzione di specie alloctone, sul rischio di inquinamento genetico delle popolazioni animali. Tra i pochi studi effettuati si veda CHOO (2008); RONGHANG & AHMED (2010); VAN ITTERBEECK *et al.* (2014). Più in generale, scarse sono anche le conoscenze sull'impatto che l'allevamento di insetti, sia su piccola scala che a livello industriale, può determinare sull'ambiente.

La mancanza di studi è un limite che dovrà essere superato in breve tempo, allocando risorse idonee prima che l'attuazione di programmi di allevamento su larga scala ponga emergenze ambientali, e non solo, da dover risolvere con urgenza e in subordine a considerazioni di tipo meramente economico.

Considerate le variabili che maggiormente incidono sulla emissione di inquinanti e sugli altri indicatori ambientali (potenziale climalterante, utilizzo

di energia non rinnovabile, uso di suolo), le ricerche da intraprendere dovrebbero essere mirate ad approfondire gli impatti delle specie allevabili per il consumo umano e/o animale, in contesti geografici e socio-economici diversi, anche per offrire elementi di confronto con le locali fonti proteiche di origine animale e vegetale.

Per il settore dell'allevamento massale degli insetti si prevede una forte espansione ma, per disporre di una più ampia base di conoscenze, gli aspetti da analizzare in dettaglio sono ancora molti. Se le specie oggetto di studi con finalità applicative per le filiere *food & feed* sono ancora poche, quelle per le quali esistono evidenze sulle performance ambientali in condizioni di allevamento massale sono ancora meno. D'altro canto, poco o nulla è stato fatto per ridurre l'impatto da prelievo di artropodi nelle aree del mondo dove, per ragioni storico-culturali, questi animali fanno parte della dieta umana, in particolare Asia, Africa, Centro e Sud America (RAMOS-ELORDUY, 2002; YEN, 2009; GAHUKAR, 2011). Probabilmente, in tali aree l'allevamento massale potrebbe avere effetti positivi in termini di conservazione della biodiversità locale, anche se al momento non sono disponibili studi specifici a supporto di tale ipotesi.

Le prospettive per l'intero settore sembrano quindi enormi, come enormi sono i riflessi sul piano socio-culturale che tale innovazione può portare, soprattutto nei Paesi occidentali, dove gli insetti sono considerati più come un problema che come una risorsa.

Una grande sfida, quindi, da affrontare con un approccio di *Life Cycle Thinking*, ma anche una grande opportunità per approfondire quegli aspetti che rappresentano punti deboli degli attuali modelli di valutazione ambientale basati su LCA, compresa la conservazione della biodiversità. La tematica si prospetta essere un terreno fertile per sviluppare e applicare una "scienza della sostenibilità" che, in maniera transdisciplinare, possa colmare quelle lacune conoscitive e intellettuali che ancora si frappongono tra Sviluppo e Sostenibilità.

RIASSUNTO

Almeno 1.900 specie di insetti sono attualmente utilizzate nel mondo a scopo alimentare, prevalentemente in Asia, Africa, Australia, America Latina. Il loro valore alimentare è di norma elevato e, stando alle conoscenze sinora acquisite, si dimostrano molto più efficienti delle convenzionali specie animali di allevamento in termini di conversione di alimento in peso corporeo. Vi è quindi un crescente interesse verso l'allevamento massale degli insetti come fonte alimentare alternativa, non solo per l'uomo ma soprattutto per la produzione di mangimi ad uso zootecnico. Sebbene siano ormai noti numerosi aspetti positivi dell'uso di insetti come cibo (alto coefficiente di conversione alimentare, ridotto fabbisogno idrico, elevata adattabilità a substrati di crescita a basso valore, ridotte emissioni di

gas ad effetto serra), la letteratura sull'argomento è tuttora ancora carente e anche la valutazione delle performance ambientali, intesa come stima della riduzione dell'impatto ambientale rispetto ad altre fonti di proteine alimentari, è nel complesso in una fase embrionale. In questa nota viene presentata una breve sintesi delle conoscenze sinora acquisite nel settore dell'allevamento massale degli insetti, al fine di mettere in evidenza i possibili vantaggi di questa attività ma soprattutto di sottolineare le ancora notevoli carenze conoscitive, in particolare riguardo all'impatto degli allevamenti (sia su piccola che su grande scala) e alla conservazione della biodiversità.

BIBLIOGRAFIA

- ANANKWARE P.J., FENING K.O., OSEKRE E., OBENG-OFORI D., 2015 – *Insects as food and feed: A review*. - International Journal of Agricultural Research and Review, 3(1): 143-151.
- BELLUCO S., LOSASSO C., MAGGIOLETTI M., ALONZI C.C., PAOLETTI M.G., RICCI A., 2013 – *Edible insects in a food safety and nutritional perspective: a critical review*. - Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 12: 296-313.
- BLONK H., KOOL A., LUSKE B., 2008 – *Milieu effecten van Nederland seconsumptie van eiwitrijke producten*. - BMA/VROM, Gouda, VIII+143 pp.
- CHAPAGAIN A.K., HOEKSTRA A.I., 2003 – *Virtual water flows between nations in relation to trade in livestock and livestock products*. - Value of Water, Research Report Series n. 13. UNESCO-IHE The Netherlands.
- CHOO J., 2008 – *Potential ecological implications of human entomophagy by subsistence groups of the Neotropics*. - Terrestrial Arthropod Reviews, 1: 81-93.
- ERICKSON M.C., ISLAM M., SHEPPARD C., LIAO J., DOYLE M.P., 2004 – *Reduction of Escherichia coli O157:H7 and Salmonella enteric serovar Enteritidis in chicken manure by larvae of the black soldier fly*. - Journal of Food Protection, 67: 685-690.
- FAO, 2012 – *Hot issues: water scarcity. Water & poverty, an issue of life and livelihoods*. - FAO Land and Water Division.
- GAHUKAR R.T., 2011 – *Entomophagy and human food security*. - International Journal of Tropical Insect Science, 31: 129-144.
- KARCH H., TARR P., BIELASZEWSKA M., 2005 – *Enterohaemorrhagic Escherichia coli in human medicine*. - International Journal of Medical Microbiology, 295 (6-7): 405-418.
- MEUWISSEN P., 2011 – *Insecten als nieuwe eiwitbron. Een scenarioverkenning van de marktkansen*. - ZLTO-projecten. 's Hertogenbosch, The Netherlands.
- 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*. - Report. Waste Management Center, North Carolina State University, Raleigh, NC.
- NIJDAM D., ROOD T., WESTHOEK H., 2012 – *The price of protein: review of land use and carbon footprints from life cycle assessments of animal food products and their substitutes*. - Food Policy, 37: 760-770.
- OONINCX D.G.A.B., VAN ITTERBEECK J., HEETKAMP M.J.W., VAN DEN BRAND H., VAN LOON, J.J.A., VAN HUIS A., 2010 – *An exploration on greenhouse gas and ammonia production by insect species suitable for animal or human consumption*. - PLoS ONE, 5: e14445.
- OONINCX D.G.A.B., DE BOER I.J.M., 2012 – *Environmental Impact of the Production of Mealworms as a Protein Source for Humans – A Life Cycle Assessment*. - PLoS ONE, 7: e51145.
- PAOLETTI M.G. Ed., 2005 – *Ecological implications of minilivestock; role of rodents, frogs, snails, and insects for sustainable development*. - Science Publisher Inc., Enfield, New Hampshire, 608 pp.
- PIMENTEL D., BERGER B., FILIBERTO D., NEWTON M., WOLFE B., KARABINAKIS E., CLARK S., POON E., ABBETT E., NANDAGOPAL S., 2004 – *Water resources: agricultural and environmental issues*. - BioScience, 54: 909-918.
- PREMALATHA M., ABBASI T., ABBASI T., ABBASI S.A., 2011 – *Energy-efficient food production to reduce global warming and ecodegradation: the use of edible insects*. - Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15: 4357-4360.
- RAMOS-ELORDUY J., 2002 – *The biodiversity in edible insects and their use and conservation*. - In: Ethnobiology and conservation of cultural and biological diversity: Proceedings of the Fifth International Congress of Ethnobiology, Nairobi, Kenya, September 2-6, 1996, Kabuye C.H.M. Ed., National Museums of Kenya: 320.
- RONGHANG R., AHMED R., 2010 – *Edible insects and their Conservation strategy in Karbi Anglong District of Assam, North East India*. - The Bioscan, 2: 515-521.
- RUMPOLD B.A., SCHLÜTER O.K., 2013 – *Potential and challenges of insects as an innovative source for food and feed production*. - Innovative Food Science and Emerging Technologies, 17: 1-11.
- SÁNCHEZ-MUROS M.J., BARROSO F.G., MANZANO-AGUGLIARO F., 2014 – *Insect meal as renewable source of food for animal feeding: a review*. - Journal of Cleaner Production, 65: 16-27.
- VAN HUIS A., 2013 – *Potential of Insects as food and feed in assuring food security*. - Annual Review of Entomology, 58: 563-583.
- VAN HUIS A., 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, 187 pp.
- VAN ITTERBEECK J., SIVONGXAY N., PRAXAYSOMBATH B., VAN HUIS A., 2014 – *Indigenous knowledge of the edible weaverant Oecophylla smaragdina Fabricius (Hymenoptera: Formicidae) from the Vientiane Plain, Lao PDR*. - Ethnobiology Letters, 5: 4-12.
- VANTOMME P., MERTENS E., VAN HUIS A., KLUNDER H., 2012 – *Assessing the Potential of Insects as Food and Feed in assuring Food Security*. - Technical Consultation Meeting 23-25 January 2012, FAO, Rome, Italy. Summary Report. Food And Agriculture Organization of the United Nations, Forestry Department, Rome, 38 pp.
- VAN ZANTEN H.H., OONINCX D.G., MOLLENHORST H., BIKKER P., MEERBURG B.G., DE BOER I.J., 2014 – *Can the environmental impact of livestock feed be reduced by using waste-fed housefly larvae?* - 9th International Conference LCA of Food San Francisco, USA 8-10 October 2014.
- VELLINGA T.V., BLONK H., MARINUSSEN M., VAN ZEIST W.J., DE BOER I.J.M., 2013 – *Methodology used in feedprint: a tool quantifying greenhouse gas emissions of feed production and utilization*. - Wageningen UR, Lelystad, the Netherlands.
- YEN A.L., 2009 – *Entomophagy and insect conservation: some thoughts for digestion*. - Journal of Insect Conservation, 13: 667-670.

