

# Ottimizzazione delle condizioni di Allevamento di *Tenebrio molitor* tramite la Valorizzazione di Sottoprodotti Agroindustriali: Verso un Modello di Economia Circolare Sostenibile

Simona Errico, Salvatore Dimatteo, Stefania Moliterni, Paola Sangiorgio, Raffaella Rebuzzi, Anna Spagnoletta, Alessandra Verardi

ENEA, Agenzia Nazionale per le Nuove Tecnologie, l'Energia e lo Sviluppo Economico Sostenibile - Dipartimento Sostenibilità, Circolarità e adattamento al cambiamento climatico dei Sistemi Produttivi e Territoriali - Divisione Sistemi Agroalimentari Sostenibili - Laboratorio Bioeconomia Circolare Rigenerativa - CR Trisaia SS 106 Jonica, Km 419+500, 75026 Rotondella (MT)

## Introduzione

Con una popolazione globale destinata a superare i 9 miliardi entro il 2050, la produzione alimentare e i relativi sottoprodotti agro-industriali aumenteranno in modo significativo. Questi residui rappresentano una risorsa preziosa per l'allevamento di insetti, contribuendo a un'economia circolare e sostenibile. In questo contesto, *Tenebrio molitor* (TM) emerge come una soluzione concreta e innovativa per la sostenibilità alimentare, grazie alla sua capacità di bioconvertire vari sottoprodotti in biomassa proteica (Bordiean et al., 2022). Nel nostro studio, le larve di TM sono state allevate sia con una dieta standard a base di crusca di frumento, sia con diete alternative ricavate da sottoprodotti agroalimentari (come trebbie esauste di birra e albedo di bergamotto).

Nell'ambito del progetto OnFoods abbiamo messo a punto protocolli standard di allevamento che prevedono la somministrazione di vegetali come fonte idrica. In questo contesto, abbiamo esplorato l'impiego di fonti umide alternative sostenibili, come i cladodi di fico d'India (*Opuntia ficus indica*, OFI), stabilendo sia la dose settimanale che la frequenza di somministrazione, anche in base alla velocità di alterazione della matrice nelle condizioni di allevamento. I risultati mostrano che l'OFI, con il suo elevato contenuto di umidità e lunga conservabilità, è preferito dalle larve rispetto ad altre matrici convenzionalmente usate quali carote e patate (Rumbos et al., 2020), rendendolo una promettente fonte di umidità sostenibile nelle aree dove il cactus è facilmente reperibile.

Per ottimizzare la gestione dell'allevamento di TM è necessario garantire il giusto apporto idrico alle larve. Ciò viene fatto comunemente fornendo periodicamente alle larve Supplementi Umidi (SU) appropriati. Tuttavia, questi SU, nelle condizioni di allevamento, perdono acqua, quindi efficacia e, per loro natura, possono andare incontro ad alterazioni quali muffa e raggrinzimento.

L'obiettivo del presente studio è di ottimizzare la quantità settimanale di OFI, un particolare SU già da noi selezionato e verificato come alternativa sostenibile e facilmente gestibile alle fonti idriche comunemente utilizzate (Errico et al., 2023).

## Materiali e Metodi

Le larve di *Tenebrio molitor* (TML) di circa 2 mesi di età, sono state allevate tutte con una dieta standard a base di crusca (crusca 95% e lievito zootecnico al 5%). Nelle prove, abbiamo utilizzato differenti SU per fornire acqua alle larve, nello specifico: cladodi di Fico d'India (*Opuntia ficus indica*, OFI), Carota (C), Patata (P) e Rapa Rossa (RR). Le prove sono state condotte in una cella dedicata in condizioni standard di temperatura ( $27\pm 1^\circ\text{C}$ ) e umidità controllata ( $65\pm 5\%$ ). I SU sono stati forniti alle larve in due modalità: fresco (T0) e dopo 6 giorni in cella nelle condizioni di allevamento (T6). Le prove di perdita di peso dei SU hanno avuto durata di 9 giorni totali, quelle relative all'aumento di peso delle TML hanno avuto durata di 3 giorni, mentre il test per valutare la dose di OFI da somministrare settimanalmente alle TML ha avuto la durata di 1 mese. Tutte le prove sono state condotte su dieci repliche: nella valutazione della perdita di peso dei SU, il peso medio di partenza era di  $4.17\pm 0.10\text{g}$ ; i SU essiccati in cella erano in porzioni da  $0.53\pm 0.10\text{g}$ , mentre per le prove con le TML ogni replica era costituita da 20 larve del peso medio di  $0.124\pm 0.008\text{g}$ /larva.

## Risultati

### Determinazione del residuo secco e dell'umidità relativa nei Supplementi Umidi

Per i SU prescelti abbiamo misurato la percentuale di sostanza secca e umidità relativa a T0, a T6 e a T9, cioè appena poste in cella e rispettivamente dopo 6 e 9 giorni in condizioni di allevamento. I dati a T6 e T9 per RR non sono disponibili, in quanto i campioni erano completamente coperti di muffa e di consistenza gelatinosa; pertanto, abbiamo abbandonato questo SU (Tabella 1).

Tabella 1 – Percentuali di sostanza secca (RS) e umidità relativa (UM) al tempo 0 (T0) e dopo 6 e 9 giorni in cella – rispettivamente T6 e T9 - in condizioni di allevamento per i SU selezionati.

	C			P		
	T0	T6	T9	T0	T6	T9
RS %	12,37±0,78	70,34±1,05	86,88±1,01	18,06±0,96	71,40±1,03	85,42±1,01
UM %	87,63±1,17	29,66±0,84	8,26±0,37	81,94±1,11	28,60±0,82	10,12±0,37
	OFI			RR		
	T0	T6	T9	T0	T6	T9
RS %	11,07±0,63	49,73±1,02	84,96±1,03	31,15±0,98	n.r.	n.r.
UM %	88,93±1,04	50,27±1,00	12,75±0,82	68,85±1,13	n.r.	n.r.

(\*) n.r. = non rilevato; a T6 e T9 non è stato possibile rilevare i dati perché i campioni erano completamente coperti di muffa e di consistenza gelatinosa

Dalla Tabella 1 si evince che, senza essere fornite alle TML, i SU perdono percentuali di peso (essenzialmente di acqua) che sono non significativamente diverse per C e P ma molto inferiori per OFI a T6, mentre a T9 non ci sono differenze significative tra i tre SU testati. L'andamento della UM% in OFI è completamente diverso che negli altri due SU, come chiaramente mostrato in Figura 1.



Figura 1 – Andamento della UM% nei tre SU nel tempo (0-9 giorni)

### Aumento di peso delle TML alimentate con Supplementi Umidi a T0 e a T6

Per verificare per quanto tempo i SU forniscono acqua sufficiente alle larve, abbiamo somministrato i SU a T0 e a T6 e rilevato l'aumento di peso delle TML dopo 3 giorni.

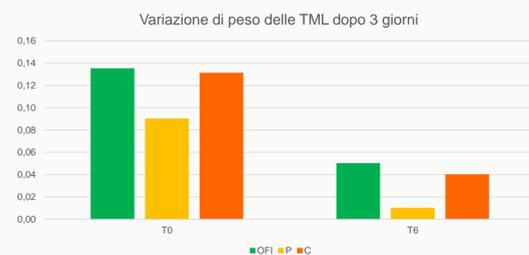


Figura 2 – Variazione di peso/larva di TML alimentate con dieta Standard e SU-T0 o T6 per 3 giorni.

Dalla Figura 2 si evince che la somministrazione di OFI induce un aumento di peso nelle TML confrontabile a quello di C sia a T0 che a T6, mentre i risultati per P sono nettamente inferiori. Inoltre, è evidente come sia OFI che C debbano essere somministrati almeno una volta a settimana, per evitare un aumento di peso troppo esiguo.

### Appetibilità dei Supplementi Umidi

Vista la buona conservabilità dell'OFI e gli ottimi risultati ottenuti nella nostra sperimentazione (Errico et al., 2023) abbiamo deciso di utilizzare l'OFI come fonte idrica considerando che risulta anche più appetibile per le larve rispetto a C e P.

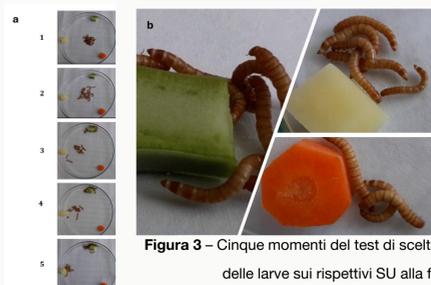


Figura 3 – Cinque momenti del test di scelta su TML tra OFI, P e C (a). Ingrandimento delle larve sui rispettivi SU alla fine del test (b).

### Dose di OFI da somministrare settimanalmente alle larve

Infine, abbiamo valutato se la somministrazione di una dose doppia di OFI portasse ad un maggiore incremento di peso delle TML. Queste sono state allevate per un mese in condizioni ambientali e di dieta standard, somministrando una volta a settimana l'OFI, sia in quantità di  $1,10\pm 0,30\text{g}/\text{replica}$  (dose singola, OFI-1X) che di  $2,10\pm 0,30\text{g}/\text{replica}$  (dose doppia, OFI-2X).

I risultati sull'effetto di queste somministrazioni sull'aumento di peso delle TML sono riportati in Figura 4.



Figura 4 – Aumento di peso medio/larva delle TML alimentate per un mese con dieta standard e OFI-1X o OFI-2X (dove 0,12 g rappresenta il peso medio iniziale della singola larva).

Il peso delle TML alimentate con dieta standard e OFI-2X aumenta di soltanto un 10% in più rispetto a quello ottenuto somministrando OFI-1X. I dettagli della variazione di peso sono riportati nella Tabella 3.

Considerando che in entrambi i casi la percentuale delle larve vive dopo un mese era del  $98,0\pm 3,5\%$ , si può concludere che non sia conveniente raddoppiare la dose di OFI somministrata settimanalmente alle TML.

### Conclusioni

In conclusione, questi risultati ci hanno permesso di verificare la possibilità di utilizzare l'OFI come fonte idrica nella dieta standard del *Tenebrio molitor*, risultando più facilmente conservabile in condizioni di allevamento e maggiormente appetibile per le larve rispetto agli altri SU. Visto l'effetto limitato sull'aumento di peso delle TML con una dose doppia di OFI, riteniamo opportuno continuare ad utilizzare la dose definita di 1g ogni 20 larve una volta a settimana.

### Riferimenti

Bordiean A, Krzyżaniak M, Stolarski MJ. Bioconversion Potential of Agro-Industrial Byproducts by *Tenebrio molitor*—Long-Term Results. *Insects*. 2022; 13(9):810. <https://doi.org/10.3390/insects13090810>  
 Errico S, Sangiorgio P, Moliterni S, Verardi A, Spagnoletta A, Dimatteo S, Baldacchino F. Prickly Pear Cladodes as an Alternative Source of Water in Small- and Medium-Scale Yellow Mealworm Rearing. *Agriculture*. 2023; doi: 0.3390/agriculture13071435  
 Rumbos C, Karapanagiotidis I, Mente E, Psafakis P, Athanassiou C. Evaluation of various commodities for the development of the yellow mealworm, *Tenebrio molitor*. *Scientific Reports*. 2020 doi:10.11224.10.1038/s41598-020-67363-1.

### Ringraziamenti

Si ringrazia il ProgettoPNRR "ON FOODS - Research and innovation network on food and nutrition Sustainability, Safety and Security - Working ON Foods" (PE00000003).