

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Agronomia, Animali, Alimenti, Risorse
Naturali e Ambiente

Corso di Laurea *Magistrale* in
Scienze e Tecnologie Animali

**Effetto dell'arricchimento alimentare con zucca
disidratata sul comportamento e sulla qualità delle uova
di galline ovaiole in un sistema cage-free**

Relatore:

Prof.ssa ANGELA TROCINO

Correlatore:

Dott. MATTIA PRAVATO

Laureanda:

SILVIA ZECCAGNO

matricola N. 2113423

ANNO ACCADEMICO 2023/2024

Sommario

<u>RIASSUNTO</u>	1
<u>ABSTRACT</u>	3
<u>INTRODUZIONE</u>	5
<u>Il mercato avicolo e il mercato delle uova da consumo</u>	5
<u>Economia circolare: da scarti alimentari (<i>food</i>) ad alimenti per consumo animale (<i>feed</i>)</u>	10
<u>La zucca, prodotti e sottoprodotti della zucca: profilo nutrizionale</u>	15
<u>Zucca e sottoprodotti nell'alimentazione animale</u>	23
<u>Alimentazione delle galline e qualità dell'uovo</u>	27
<u>Sistemi di allevamento della gallina ovaioia</u>	30
<u>Benessere animale, fattori di rischio e indicatori di benessere nella gallina ovaioia</u>	32
<u>Arricchimenti ambientali ed alimentari in allevamento: finalità e tipologie</u>	37
<u>OBIETTIVI</u>	40
<u>MATERIALI E METODI</u>	41
<u>Strutture di stabulazione</u>	41
<u>Animali e disegno sperimentale</u>	42
<u>Rilievi sperimentali</u>	45
<u>Animal based measures</u>	45
<u>Rilievi comportamentali</u>	45
<u>Analisi fisiche e reologiche delle uova</u>	47
<u>Analisi chimiche di mangime, zucca e uova</u>	49
<u>Analisi statistica</u>	50
<u>RISULTATI E DISCUSSIONE</u>	51
<u>Rilievi sugli animali</u>	52
<u>Rilievi comportamentali</u>	53
<u>Produzione di uova</u>	58
<u>Qualità delle uova</u>	59
<u>CONCLUSIONI</u>	64
<u>BIBLIOGRAFIA</u>	65

RIASSUNTO

Con una popolazione globale in costante aumento, crescono anche i relativi fabbisogni, portando ad un aumento della richiesta alimentare. Negli anni, nel paniere degli acquisti alimentari domestici si sono consolidando i prodotti della filiera avicola, con carni e uova da consumo che vengono favoriti rispetto ad altri prodotti proteici di origine animale per il loro profilo nutrizionale più salubre, l'accessibilità economica e l'assenza di restrizioni etiche e religiose che ne limitano il consumo. Per soddisfare tale richiesta sono stati intensificati i sistemi di produzione, fenomeno che però genera preoccupazioni nella collettività in materia ambientale e di benessere animale.

In un contesto in cui le risorse naturali vanno progressivamente esaurendosi si rende necessario ottimizzare l'utilizzo del cibo prodotto, riducendo le perdite e gli sprechi alimentari, al fine di migliorare l'efficienza complessiva della filiera alimentare e garantire modelli di consumo e produzione sostenibili. Per sfruttare il potenziale dei rifiuti alimentari, è possibile creare integratori alimentari nelle diete animali: questo approccio mira non solo a supportare la creazione di un'economia circolare, ma anche a fornire un arricchimento all'alimentazione animale che possa favorire un miglioramento dello stato di salute e della produzione degli animali allevati. L'interesse da parte dei consumatori a sistemi di allevamento più rispettosi al benessere animale ha portato negli anni a una forte diversificazione dei metodi di allevamento. Nel caso delle galline ovaiole si è assistito ad una riduzione dei sistemi di stabulazione in gabbie a favore di sistemi alternativi "cage-free" che garantiscono una maggiore libertà di movimento e non inibiscono il repertorio comportamentale; tuttavia, anche in questo tipo di sistemi possono presentarsi fenomeni di aggressività e plumofagia, problematiche che possono essere evitate o ridotte grazie ad arricchimenti ambientali e alimentari.

La presente tesi ha avuto lo scopo di valutare l'effetto dell'integrazione di zucca disidratata ad un livello d'inclusione pari all'8% dell'ingestione giornaliera di galline ovaiole allevate in un sistema di tipo *cage-free* sul comportamento, sulla produzione e sulla qualità delle uova.

Sebbene a tale livello di integrazione testato la somministrazione della zucca disidratata non abbia apportato modifiche significative alla produttività e alla qualità dei prodotti, il comportamento degli animali è stato in parte influenzato dall'assunzione della zucca disidratata, con gli animali sottoposti ad integrazione alimentare che si sono dimostrati più attivi (55,5% vs 40,0%; $P < 0,001$) e interessati all'esplorazione ambientale con un aumento delle beccate a terra a livello della lettiera (9,17% vs 7,26%; $P < 0,001$) e della mangiatoia (5,94% vs 0,00%; $P < 0,001$). D'altro canto, nei gruppi sperimentali è stato osservato un incremento dell'incidenza di lesioni podali (35,0% vs 16,0%; $P < 0,001$) e una riduzione della pulizia del piumaggio (8,50% vs 28,5%; $P < 0,001$) rispetto al gruppo di controllo. L'integrazione della zucca disidratata ha inoltre parzialmente influenzato il comportamento di deposizione: sebbene la maggior parte delle uova venisse deposta all'interno dei nidi in entrambi i gruppi, è stato osservato un incremento delle uova deposte a terra nel gruppo sperimentale rispetto al gruppo di controllo, portando ad un aumento delle uova sporche (3,27% vs 1,61%; $P = 0,03$). In merito alla qualità reologica delle uova e alla loro composizione chimica, non sono state evidenziate differenze significative tra i due gruppi analizzati se non per il colore del tuorlo, che nel caso delle uova provenienti dal

gruppo sottoposto ad integrazione alimentare ha riportato una riduzione del parametro L* (51,4 vs 54,2) e un aumento dei parametri a* e b* (15,6 vs 14,5; 59,5 vs 44,8, rispettivamente) ($P < 0,001$), risultando in un tuorlo meno luminoso dato l'aumento concentrazione di pigmenti gialli e rossi.

In conclusione, sulla base dei risultati ottenuti, l'integrazione di zucca disidratata all'8% d'ingestione giornaliera delle galline ovaiole può influenzare il comportamento degli animali aumentando la loro attività, e la qualità delle uova, aumentando l'intensità della colorazione.

ABSTRACT

With an increasing global population, the relative needs are also growing, leading to an increase in food demand. Over the years, poultry products have consolidated in the domestic food purchases, with meat and eggs being favoured over other animal protein products due to their healthier nutritional profile, their reasonable price and the absence of ethical and religious restrictions that limit their consumption. In order to satisfy this demand, production systems have been intensified, generating environmental and animal welfare concerns in the society.

In a context where natural resources are progressively being depleted, it's necessary to optimise the use of the food produced, reducing food losses and waste, in order to improve the overall efficiency of the food chain and ensure sustainable consumption and production patterns. To exploit the potential of food waste, it's possible to create food supplements in animal diets: this approach aims not only to support the creation of a circular economy, but also to provide an enrichment to animal nutrition that can improve the health status and production of animals. Consumer interest in animal welfare has led to a strong diversification of farming methods over the years. In the case of laying hens, there has been a reduction in cage systems in favour of alternative "*cage free*" systems that guarantee greater freedom of movement and don't inhibit the behaviour; however, even in this type of system aggression and feather pecking can occur, problems that can be avoided or reduced using environmental and food enrichment.

The aim of this thesis was to evaluate the effect of dehydrated pumpkin supplementation at an inclusion level of 8% of the daily intake of laying hens reared in a *cage-free* system on animal behaviour, egg production and egg quality.

At this level of inclusion in the diet, the pumpkin didn't lead to significant changes in productivity and product quality, while the animal's behaviour was partly influenced by it, with the animals receiving dietary supplementation showing to be more active (55,5% vs 40,0%; $P < 0,001$) and interested in scout the environment with an increased pecking at the litter (9,17% vs 7,26%; $P < 0,001$) and feeder (5,94% vs 0,00%; $P < 0,001$). On the other hand, an increased incidence of foot lesions (35,0% vs 16,0%; $P < 0,001$) and limited plumage cleanliness (8,50% vs 28,5%; $P < 0,001$) was observed in the experimental groups compared to the control group. The adding of dehydrated pumpkin also influenced laying hens behaviour: although the major part of the eggs produced were laid inside the nests in both groups, an increase in eggs laid on the ground was observed in the experimental group, leading to an increase in dirty eggs (3,27% vs 1,61%; $P = 0,03$).

Referring to the rheological quality of the eggs and their chemical composition, no significant differences were found between the two groups analysed, except for the yolk colour, that in the eggs obtained from the experimental group showed a reduction in the L^* parameter (51,4 vs 54,2) and an increase in a^* and b^* parameters (15,6 vs 14,5; 59,5 vs 44,8, respectively) ($P < 0,001$), resulting in a less bright yolk due to the increased concentration of yellow and red pigments.

In conclusion, based on the results obtained, the supplementation of dehydrated pumpkin at 8% daily intake of laying hens can influence animal's behaviour by increasing their activity, and the egg's quality by increasing the intensity of the colouration.

INTRODUZIONE

Il mercato avicolo e il mercato delle uova da consumo

La popolazione globale ha raggiunto quasi 8,2 miliardi di persone a metà del 2024 e si prevede che crescerà di altri due miliardi nei prossimi 60 anni, raggiungendo un picco di circa 10,3 miliardi a metà degli anni 2080. I cambiamenti nella popolazione a livello globale non risultano tuttavia uniformi e ciò è rappresentato da una lenta crescita e declino della popolazione nei Paesi ad alto reddito (Nord America, Europa) e una rapida crescita della popolazione nei Paesi a basso e medio reddito (Africa subsahariana, Asia centrale e meridionale) (United Nations, 2024). Questa crescita è associata ad una maggiore richiesta di proteine di origine animale per l'alimentazione.

La produzione globale di carne ha raggiunto i 357 milioni di tonnellate nel 2021, con un aumento del 53% rispetto al 2000 (FAO, 2023). In questo contesto, è il settore avicolo quello che evidenzia una crescita più marcata e una maggiore flessibilità tra i settori zootecnici: nell'ultimo ventennio si è espanso e consolidato in tutti i Paesi, tanto che si è passati da 58,7 milioni di tonnellate prodotte nel 2000 (25% delle produzioni totali) a 121,59 milioni di tonnellate prodotte nel 2021 (34% della produzione totale di carne), segnando un aumento del +107% (equivalente a 63 milioni di tonnellate) e andando a riempire il vuoto lasciato sul mercato dalle produzioni in calo di carni bovine e suine (Figura 1) (FAO, 2023).

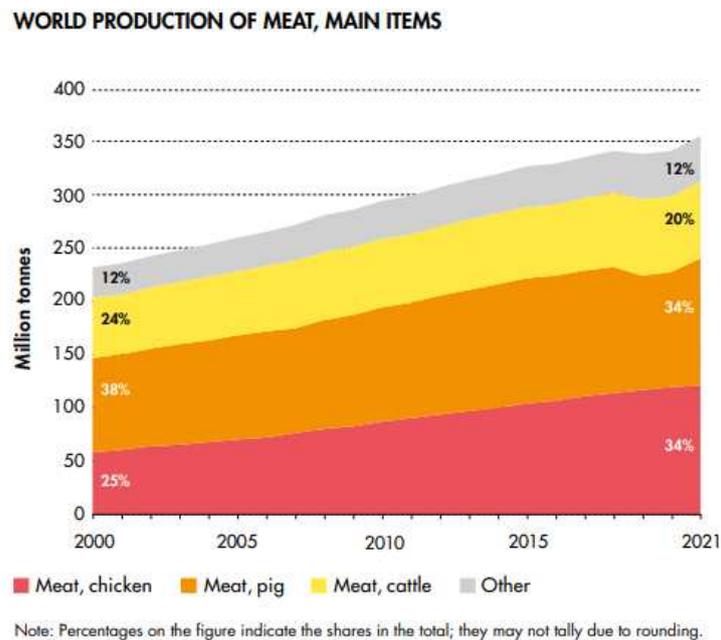


Figura 1. Produzione mondiale di carne, principali voci (FAO, 2023)

L'andamento di mercato delle diverse filiere della carne può essere ricondotto alle preferenze del consumatore, le quali dipendono fortemente dai diversi livelli di reddito della popolazione: nei Paesi con una soglia di povertà più alta, sarà il prospetto economico ad orientare gli acquisti della popolazione, mentre nei paesi ad alto reddito vengono prese in considerazione ulteriori tematiche come i benefici apportati alla salute, la sostenibilità ambientale e il benessere animale. In questo scenario, negli anni i consumatori hanno

gradualmente ridotto il consumo di carne rossa a favore di quella bianca, e nella fattispecie, quella appartenente al comparto avicolo.

Nel comparto avicolo, parallelamente alla produzione delle carni, anche il settore delle uova ha assunto una sempre maggiore rilevanza a livello globale. Per soddisfare la crescente richiesta da parte del mercato, tra il 1961 e il 2020 la produzione di uova è passata da 15 a 93 milioni di tonnellate (FAO, 2023). Il successo produttivo del comparto avicolo si deve anche ai rapidi progressi nella genetica che hanno reso possibile la selezione di linee genetiche ibride specializzate nella produzione di carne e uova da consumo. L'elevata specializzazione di queste filiere e la brevità dei cicli produttivi rendono possibile la fornitura di una produzione quantitativamente costante nell'arco dell'intero anno grazie anche all'incubazione artificiale delle uova. Gli elevati indici di conversione alimentare rendono i prodotti avicoli economicamente accessibili a tutti i livelli della popolazione. Dal punto di vista alimentare, le carni avicole vantano un profilo nutrizionale più salubre rispetto alle carni suine e bovine poiché contengono nel complesso meno grassi (nello specifico, sono povere di grassi trans nocivi) e sono ricche per quasi la metà di grassi monoinsaturi; le uova sono una buona fonte di proteine ad alto valore biologico e di micronutrienti come le vitamine del complesso B, ferro, zinco e selenio, risultando essere anche facilmente digeribili (CREA, 2017; Gautron *et al.*, 2022). Infine, l'assenza di vincoli religiosi o etnici che ne limitino il consumo, rendono questi prodotti altamente utilizzati.

Stando ai dati riportati dalla sezione "Statistiche" dell'Anagrafe Nazionale Zootecnica, gli allevamenti avicoli iscritti alla Banca Dati Nazionale (BDN) sarebbero 10.859 con oltre 140 milioni di capi allevati (147.658.183). A livello nazionale, è possibile osservare un'ampia diffusione della filiera avicola soprattutto nel Nord del Paese, dove le regioni con la maggiore densità di allevamenti sono il Veneto, la Lombardia, il Piemonte e l'Emilia-Romagna, con più della metà degli allevamenti presenti sul suolo nazionale (54,1%) e con più del 70% (71,8%) del patrimonio avicolo allevato (Figura 2).

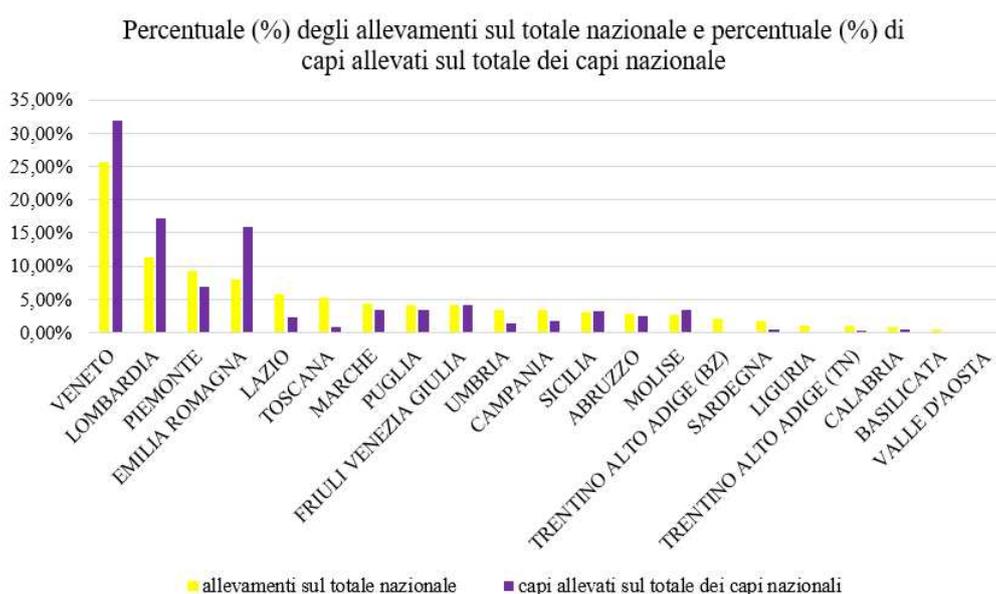


Figura 2. Percentuale (%) degli allevamenti sul totale nazionale (in giallo) e percentuale (%) dei capi allevati sul totale dei capi nazionali (in viola) per regione (BDN, 2024)

La filiera avicola italiana è principalmente orientata alla produzione della specie *Gallus gallus* (61,17% delle aziende totali nazionali), con particolare interesse alla produzione di pollame da carne (i cosiddetti polli “broiler”) e alla produzione di uova da consumo. Secondariamente alla specie *Gallus gallus*, l’Italia vede un 7,71% delle sue aziende avicole votate all’allevamento della specie *Meleagris gallopavo*, quasi interamente finalizzata alla produzione di pollame da carne. La quota rimanente di aziende avicole presenti su suolo nazionale è ripartita nell’allevamento di selvaggina da ripopolamento, piccioni, anatre, faraone, quaglie, oche, ratiti e colombe, tutte a plurimi indirizzi produttivi (pollame da carne, produzione di uova da consumo, svezzamento, riproduttori, collezione faunistica, pollame ornamentale) (Tabella 1).

Tabella 1. Numero di allevamenti, gruppi e capi presenti per specie allevata e relativi indirizzi produttivi a livello nazionale (BDN, 2024)

	Allevamenti	Gruppi	Capi
<i>Gallus Gallus</i>			
Collezione faunistica (diversa da giardino zoologico)	4	2	30
Pollame da carne	2.882	4.807	73.490.060
Produzione uova da consumo	3.301	4.097	54.040.107
Riproduttori	301	821	6.733.601
Svezzamento	154	240	382.281
<i>Meleagris gallopavo</i>			
Pollame da carne	779	1.694	8.623.260
Riproduttori	53	193	470.153
Svezzamento	6	2	193

In riferimento al comparto delle uova, è possibile rilevare una sua affermazione su larga scala grazie ad una crescita esponenziale nel tempo, frutto di una sempre maggior richiesta da parte del mercato (si consideri che negli ultimi tre decenni la produzione mondiale di uova è aumentata del 150%). Gran parte di questa crescita si è verificata in Asia, dove la produzione è aumentata di quasi quattro volte grazie principalmente a Cina ed India, che rappresentano il primo e il secondo Paese in termini produttivi a livello internazionale (forniscono rispettivamente il 38% e il 7% della produzione globale); di pari passo ai Paesi orientali, gli Stati Uniti forniscono il 7% della produzione globale (FAO, 2023). Secondo i dati della *Food and Agriculture Organization* (FAO), la produzione di uova è passata da 61,7 milioni di tonnellate nel 2008 a 76,7 milioni di tonnellate nel 2018, un aumento del 24% in dieci anni. I consumi di uova sono destinati a salire ulteriormente nei prossimi anni, in particolare tra i Paesi in via di sviluppo che ne apprezzano tanto l’ottimo apporto proteico quanto l’eccellente rapporto qualità prezzo.

Nell’asset import-export su scala globale, l’Unione Europea vanta un settore avicolo dal valore di 33 miliardi di euro e gioca un ruolo strategico sia come importatore che come esportatore. La produzione di uova all’interno del territorio europeo corrisponde al 2,3% della produzione agricola totale europea (ISMEA, 2024). Per assicurare tali quote produttive, si stima che nel 2020 le galline ovaiole presenti in tutta l’Unione Europea fossero circa 366 milioni, con una produzione annua attestata sulle 7 milioni di tonnellate di uova, di cui circa 6,1 milioni di tonnellate destinate al consumo fresco, mentre le restanti alla riproduzione e classificate come

uova “da cova”. In questo contesto, nel 2022 i 27 Paesi membri dell’UE hanno contribuito per il 7% alla popolazione mondiale di galline ovaiole con 396,6 milioni di capi allevati e per un 7% alla produzione mondiale di uova (6 milioni di tonnellate), con oltre la metà delle uova commercializzate a livello mondiale proveniente dal territorio europeo (Windhorst, 2022).

Nonostante la produzione in crescita negli anni precedenti, l’ultimo quinquennio (2019-2023) si è caratterizzato per un costante aumento dei prezzi di vendita dei prodotti della filiera avicola, fenomeno dovuto ad una forte base speculativa e ad un generale rallentamento dell’economia globale. Tale contesto è il risultato del costante peggioramento delle condizioni atmosferiche, che ha penalizzato le produzioni agricole, dell’avvento dell’epidemia di Covid-19 e del conflitto tra Russia e Ucraina, che ha portato ad una forte limitazione nella disponibilità di materie prime per la zootecnia (e quindi, ad un aumento del costo dei mangimi) e ai maggiori costi dell’energia dovuti all’aumento del prezzo dei carburanti. Nell’evoluzione delle dinamiche dell’andamento del mercato avicolo, assumo un ruolo determinante anche le epidemie come l’Influenza Aviaria e la malattia di Newcastle. Sebbene questa serie di fattori abbia portato ad una contrazione dell’offerta, la produzione di uova in Europa ha invertito il risultato negativo del 2022 arrivando a oltre 6 milioni di tonnellate prodotte e riuscendo a soddisfare la richiesta di uova del mercato interno, dimostrando un’elevata autosufficienza, che si attesta su valori stabili da diversi anni di circa il 105% (Windhorst, 2022).

Nello scenario europeo, l’Italia si conferma il quarto paese produttore a livello comunitario dopo Francia (14%), Germania (14%) e Spagna (12%) (Commissione Europea, 2023). Con oltre 776 mila tonnellate di uova prodotte nel 2023 (+6,8% rispetto al 2022) e un consumo pro-capite medio pari a 214,5 uova l’anno (oltre 13,6 kg/anno), l’Italia evidenzia un tasso di autoapprovvigionamento pari al 97% (+2% rispetto al 2022) e genera un introito di 2,1 milioni di euro, con un’incidenza sul fatturato agricolo pari al 3,2% (+14,9% rispetto all’anno precedente) (Unaitalia, 2024).

In materia di produzione e di commercio, la filiera delle uova italiana rispecchia l’andamento altalenante dei Paesi europei degli ultimi cinque anni con una ripresa del comparto nazionale nel 2023, segnata da un incremento delle produzioni dovute ad una crescente domanda interna e delle esportazioni, oltre che ad un calo delle importazioni di uova in guscio (Tabella 2).

Tabella 2. Bilancio autoapprovvigionamento delle uova in Italia (ISMEA, 2024)

	2019	2020	2021	2022	2023	Var. 2023/2022
Produzione (000 tonnellate)	751,3	727,3	745,7	726,6	776,0	6,8%
Import uova in guscio	32,8	39,7	34,3	58,1	44,3	-23,8%
Export uova in guscio	15,7	8,4	12,7	18,5	19,6	5,9%
Utilizzazione interna	768,4	758,6	767,3	766,2	800,7	4,5%
Consumo pro-capite (pz/anno)	205,2	202,6	206,0	206,1	215,4	4,5%
Tasso di autoapprovvigionamento	98%	96%	97%	95%	97%	2%

Le uova si dimostrano essere un prodotto molto apprezzato dai consumatori e risultano tra i prodotti proteici di origine animale più performanti tanto che negli acquisti domestici riportano il coefficiente percentuale più elevato in termini di volumi, fenomeno favorito dai bassi costi d'acquisto rispetto all'apporto proteico e dalla versatilità di utilizzo, che si traduce in un aumento degli acquisti in termini di valore pari al +31% tra il 2019 e il 2023 (+14,5 tra il 2022 e il 2023) (Figura 3) (ISMEA, 2024).

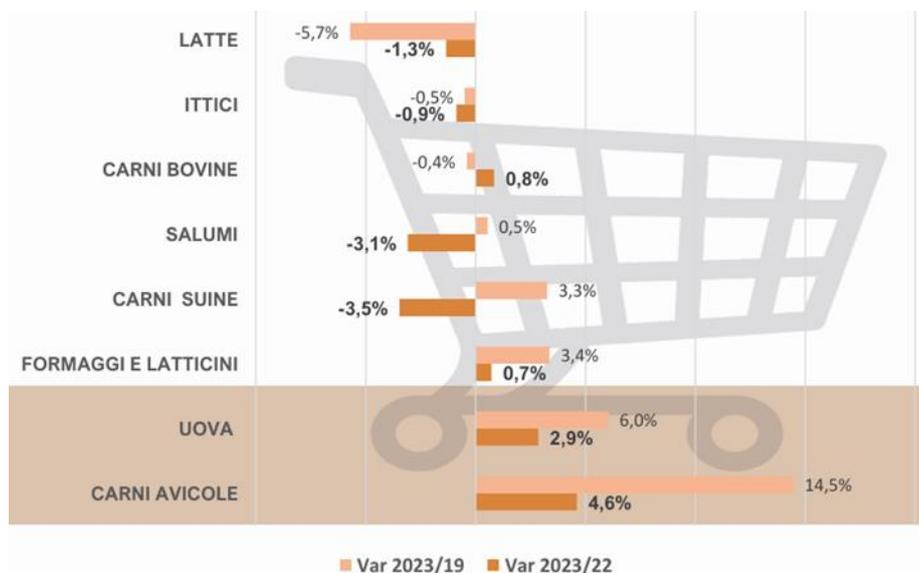


Figura 3. Variazione percentuale (%) quinquennale (2023/2019) e annuale (2023/2022) dei prodotti proteici di origine animale negli acquisti delle famiglie italiane (ISMEA, 2024)

Il mercato delle uova è soggetto a forte volatilità dei prezzi: considerando uova di taglia media “M” provenienti da allevamenti a terra. Mentre il 2021 è stato messo a dura prova a causa delle epidemie di Influenza Aviaria, il 2022 ha dimostrato buoni tassi di recupero grazie all'adeguamento dei prezzi iniziato già a partire dalla metà dell'anno precedente che hanno continuato a crescere fino ad aprile 2023, dov'è stato registrato il picco massimo di 0,19 € all'uovo. Il proseguo del 2023 è stato segnato da un assestamento al ribasso con prezzo minimo in agosto (0,16 € all'uovo) e una successiva stabilizzazione dei prezzi, che si è protratta anche nel primo trimestre del 2024 (ISMEA, 2024).

Un fattore che polarizza l'acquisto delle uova è la tipologia di allevamento dalle quali esse provengono, in quanto direttamente correlato al benessere animale, tematica sempre più presa in considerazione da parte dei consumatori. In Europa esistono quattro tipi di allevamento che differiscono tra i vari Stati membri: gabbie arricchite, allevamento a terra, allevamento all'aperto e allevamento biologico. Nel 2020 nel territorio europeo, il 48,1% delle galline ovaiole veniva allevato in gabbie arricchite, il 34,0% a terra, l'11,9% all'aperto e il 6,1% con sistema biologico (Windhorst, 2022). Tali valori sono destinati a cambiare guidati dalle preferenze e richieste del consumatore medio: mentre le gabbie arricchite sono state per lungo periodo il sistema maggiormente impiegato nei Paesi dell'Europa orientale e meridionale, i sistemi a terra hanno trovato terreno fertile nel Nord e nel Centro Europa, così come gli allevamenti all'aperto si sono ampiamente diffusi in Irlanda,

Austria, Germania e Paesi scandinavi e i sistemi biologici si sono consolidati in Lussemburgo, Danimarca, Svezia, Germania e Francia (Windhorst, 2022).

Sul suolo nazionale italiano risultano operativi 3.302 allevamenti di galline ovaiole, di cui 1.715 di grandi dimensioni (oltre i 250 capi), con 54.040.107 capi allevati (4.097 gruppi totali) (BDN, 2024).

La quota più consistente di questi allevamenti si concentra al Nord Italia con Veneto, Piemonte e Lombardia che da sole ospitano quasi 1/3 delle aziende italiane (32,34%), mentre le frazioni restanti si dividono tra Lazio (9,72%), Toscana (7,27%) ed Emilia-Romagna (7,24%). Tra queste, il Veneto si conferma la prima regione per numero di allevamenti di galline ovaiole, contando 478 aziende attive (14,47%) e più di 15 mila galline allevate (15.361.428) (28,42%) (BDN, 2024).

Il panorama italiano della produzione di uova è principalmente orientato ai sistemi di produzione da allevamenti a terra (44,83%) e all'aperto (25,82%); la quota rimanente si divide tra allevamenti che fanno uso di gabbie arricchite (18,79%) e con metodo biologico (10,54%) (quote percentuali sul totale dei gruppi rilevato a livello nazionale) (Figura 4). Secondo i dati dell'Anagrafe Nazionale, la quota di uova provenienti da galline in gabbie arricchite è scesa del 25,5% tra il 2019 e il 2024, risultando comunque notevolmente inferiore alla media europea (39,2%), mentre è aumentata la quota di quelle a terra.

Sistemi di allevamento impiegati per la produzione di uova in Italia

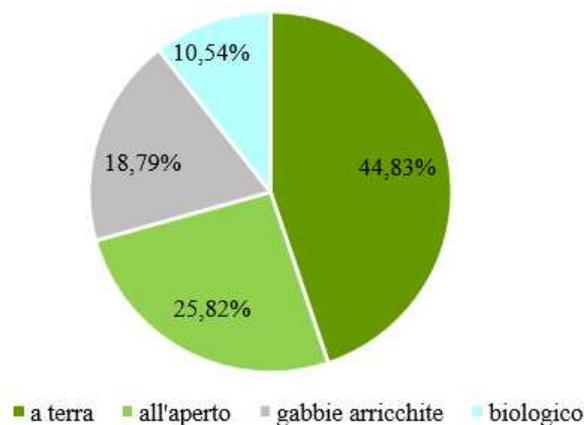


Figura 4. Rappresentazione grafica percentuale (%) delle quattro tipologie di allevamento impiegate per la produzione di uova in Italia (BDN, 2024)

Economia circolare: da scarti alimentari (*food*) ad alimenti per consumo animale (*feed*)

La costante crescita della popolazione mondiale aumenterà in modo significativo la pressione sulle risorse naturali per soddisfare i bisogni alimentari. Per conseguire la sicurezza alimentare per tutti in un contesto in cui le risorse sono limitate e contese tra uomo e animali allevati, e senza compromettere ulteriormente gli ecosistemi e la biodiversità, urge la necessità di garantire una transizione verso sistemi di allevamento più

sostenibili basati sull'uso efficiente di fonti alimentari disponibili e ottimizzare l'utilizzo del cibo prodotto riducendo gli sprechi (Dou *et al.*, 2018).

La FAO definisce la perdita e lo spreco alimentare come la “*diminuzione della quantità o della qualità del cibo lungo la filiera alimentare*”, dove, le “perdite alimentari” sono associate alla perdita di qualità in sede di produzione, lavorazione e distribuzione lungo la filiera (*Food Loss Index – FLI*), mentre con “spreco alimentare” si fa riferimento al cibo non consumato nelle fasi di vendita al dettaglio, ristorazione e consumo della filiera alimentare ed è correlato al comportamento del consumatore (*Food Waste Index – FWI*) (Dou *et al.*, 2018; FAO, 2019). Lo spreco alimentare è un problema diffuso a livello globale, con circa un terzo di tutto il cibo prodotto per il consumo umano (~1,3 miliardi di tonnellate) che viene perso o sprecato ogni anno (FAO, 2011) (Tabella 3). I Paesi in via di sviluppo riportano perdite superiori al 40% nelle fasi di raccolta e lavorazione a causa di condizioni di stoccaggio e trasporto non ottimali, perdite che risultano inferiori nei Paesi industrializzati, i quali registrano più del 40% del cibo sprecato nelle fasi di vendita al dettaglio e consumo, per lo più alimenti altamente deperibili come prodotti animali, frutta e verdura (FAO, 2011; 2019). A livello globale, la perdita e lo spreco alimentare variano tra i 194 e 389 kg/pro-capite/anno (FAO, 2011), con frutta e verdura che registrano uno spreco maggiore (circa metà del raccolto viene scartato), seguiti da cereali e legumi (Urugo *et al.*, 2024) (Tabella 3).

Tabella 3. *Quantità di rifiuti alimentari a livello regionale e globale (Urugo et al., 2024)*

Regioni	Tipi di prodotto alimentari più sprecati	Quantità stimata di rifiuti alimentari (milioni di tonnellate l'anno)
Africa	Cereali, radici e tuberi, frutta e verdura	56
Asia	Cereali, frutta e verdura, pesce e frutti di mare	214
Europa	Cereali, frutta e verdura, prodotti lattiero-caseari	57
America Latina	Frutta e verdura, radici e tuberi, carne	86
Stati Uniti	Frutta e verdura, prodotti lattiero-caseari, carne	66
Globale	Frutta e verdura, cereali, radici e tuberi, carne	1.300

Le conseguenze sono di vasta portata e hanno un impatto significativo sulla sostenibilità ambientale, l'equità sociale e i valori economici (Urugo *et al.*, 2024).

I rifiuti alimentari hanno un impatto globale significativo sull'uso del suolo: poiché la produzione di cibo richiede ingenti quantità di terreno, contribuisce alla deforestazione, alla distruzione di habitat naturali e alla perdita di biodiversità; questo non solo altera i già delicati ecosistemi, ma contribuisce all'erosione del suolo, al degrado e alla perdita di servizi ecosistemici. Inoltre, lo smaltimento dei rifiuti alimentari nelle discariche genera metano che, rilasciato in atmosfera, contribuisce all'effetto serra esacerbando il riscaldamento globale e i cambiamenti climatici, e alla formazione di ozono, con effetti dannosi sulla salute degli esseri viventi e sugli ecosistemi (Urugo *et al.*, 2024)

Dal punto di vista sociale, gli sprechi alimentari aggravano il problema della fame nel mondo poiché perpetuano l'insicurezza alimentare, rafforzando le disuguaglianze nell'accesso al cibo (Cattaneo *et al.*, 2021).

Secondo il Rapporto sullo Stato della Sicurezza Alimentare e della Nutrizione nel mondo (SOFI) pubblicato a luglio di quest'anno dalla FAO e altre associazioni, nel 2023 circa 733 milioni di persone a livello globale hanno sofferto la fame, ovvero una persona su undici in tutto il mondo e una persona su cinque nella sola Africa. Nel 2023, circa 2,33 miliardi di persone in tutto il mondo hanno dovuto confrontarsi con un'insicurezza alimentare da moderata a grave; inoltre, anche il mancato accesso a una dieta sana per ragioni economiche continua a essere un grave problema, che investe oltre un terzo della popolazione globale (FAO *et al.*, 2024).

Al contempo, lo spreco alimentare genera un costo economico globale spropositato pari a 1 trilione di dollari l'anno tra produzione, distribuzione, stoccaggio e smaltimento del cibo sprecato (Roy *et al.*, 2023).

Affrontare lo spreco alimentare richiede sforzi coordinati lungo l'intera filiera, tra cui innovazioni tecnologiche, interventi normativi, educazione dei consumatori e cambiamenti comportamentali. In quest'ottica, l'adozione di un approccio circolare andrebbe a contribuire alla creazione di un flusso di valore dai rifiuti, riducendone l'impatto ambientale e massimizzando l'efficienza delle risorse.

Il termine "economia circolare" è stato coniato per la prima volta nel 1966 dall'economista Kenneth Ewart Boulding che la definisce come *"un'economia pensata per potersi rigenerare da sola. Nel concetto di economia circolare i flussi di materiali sono di due tipi: quelli biologici, in grado di essere reintegrati nella biosfera, e quelli tecnici, destinati ad essere rivalorizzati senza entrare nella biosfera"* (Boulding, 1966). L'economia circolare è un modello di produzione e consumo basato sulla condivisione, prestito, riutilizzo, riparazione, ricondizionamento e riciclo di materiali e prodotti esistenti per più tempo possibile, così facendo si estende il ciclo di vita di tali prodotti, riducendo la quota di rifiuti. Una volta che il prodotto ha terminato la sua funzione, i suoi costituenti vengono reintrodotti – laddove possibile – e convertiti in prodotti di valore aggiunto come bioenergia, biocarburanti, fertilizzanti a base biologica, ammendanti del suolo o integratori per mangimi animali, generando ulteriori flussi di reddito e riducendo i costi di smaltimento, processo più dannoso per l'ambiente e la salute umana (Parlamento Europeo, 2023).

I principi dell'economia circolare si contrappongono a quelli del tradizionale modello economico lineare fondato sullo schema "estrarre, produrre, utilizzare e gettare" che dipende dalla disponibilità di grandi quantitativi di materiali e energia facilmente reperibili e a basso prezzo. La transizione verso l'economia circolare può portare diversi vantaggi, tra cui la riduzione delle pressioni ambientali con una maggiore disponibilità di materie prime, la riduzione del degrado degli habitat con limitazione della perdita della biodiversità, la limitazione delle emissioni annuali totali di gas effetto serra, un aumento della competitività che stimoli i processi d'innovazione favorendo la crescita economica e un incremento dell'occupazione (Parlamento Europeo, 2023). Date le ingenti quantità di rifiuti alimentari generati, un approccio di recupero-trattamento-riutilizzo potrebbe dar vita ad un sistema alimentare circolare più sostenibile nella creazione di mangimi per gli animali allevati. A tal proposito, la Commissione Europea ha elaborato un piano d'azione (Comunicazione (UE) 2018/C 133/02) basato sulla valorizzazione delle sostanze nutritive degli alimenti che, per motivi commerciali, problemi di lavorazione o determinati difetti, non sono più destinati al consumo umano

e vengono quindi impiegati nell'alimentazione animale, senza compromettere la salute pubblica e degli animali. Queste sostanze – definite come “ex prodotti alimentari” dal Regolamento (UE) n. 68/2013 della Commissione Europea – trovano nuovo impiego come mangimi, sostituendo parzialmente l'utilizzo di materie prime “tradizionali” – come mais e soia – e contribuendo ad un efficientamento delle risorse e al soddisfacimento delle esigenze nutrizionali degli animali. Tale Comunicazione è stata pubblicata dall'Unione Europea al solo fine orientativo, riportando una serie di linee guida che gli Operatori del Settore Alimentare (OSA) e le Autorità amministrative degli Stati membri sono tenuti a seguire per contribuire a ridurre lo spreco di cibo. Questo approccio applica una “gerarchia di gestione dei rifiuti” in modo da ridurre i rifiuti alimentari in chiave sostenibile evitando le opzioni di compostaggio, digestione anaerobica e smaltimento in discarica, oltre ad alleviare la competizione uomo-animale per il consumo delle risorse e ridurre i costi d'acquisto dei mangimi, componente significativa nel settore zootecnico. Nella creazione dei mangimi animali, la Comunicazione (UE) 2018/C 133/02, riporta l'inclusione dei prodotti alimentari non più destinati al consumo umano derivati dal processo di lavorazione e alimenti immessi sul mercato confezionati o sfusi, divisi in due categorie a seconda che contengano o meno prodotti di origine animale (Figura 5). Se gli alimenti non più destinati al consumo umano sono privi di prodotti di origine animale, né sono costituiti o contaminati da tali prodotti, i prodotti derivati dalla lavorazione degli alimenti e gli alimenti possono diventare rifiuti o essere utilizzati come mangime. Numerosi sono i settori dell'industria alimentare che durante le fasi di produzione generano sottoprodotti che possono essere utilizzati come mangimi, ad esempio dalla triturazione dei semi di girasole vengono prodotti pannelli di semi di girasole, la molitura genera germi di frumento, ecc. L'impiego di alimenti non più destinati al consumo umano contenenti materiale di origine animale o costituiti o contaminati da tale materiale, è rigidamente normato dal Regolamento sui sottoprodotti di origine animale e quello sulle encefalopatie spongiformi trasmissibili (TSE) (Regolamento (CE) 999/2001), questo perché tali prodotti non risultano sicuri per la salute animale, tanto che vi è il divieto assoluto di somministrazione di proteine animali trasformate agli animali da allevamento. La Comunicazione esclude infine additivi, enzimi, aromi ed integratori alimentari, nonché i rifiuti della cucina e ristorazione, banditi a livello europeo dal 2002 (Regolamento (CE) 1774/2002) a causa dell'emergenza di afta epizootica e dell'encefalopatia spongiforme bovina, divieto che è ancora in vigore da allora (Regolamento (CE) 1069/2009).

La zucca, prodotti e sottoprodotti della zucca: profilo nutrizionale

La “zucca” – in inglese generalmente nota come “squash”, “pumpkin”, “marrow” e “gourd”, e in spagnolo come “calabazas” e “zapallos” – fa parte del genere *Cucurbita* e, assieme ad altri 117 generi, appartiene alla famiglia delle Cucurbitaceae, dell’ordine Cucurbitales (Jeffrey, 1990). Poiché la filogenesi completa non appare ancora del tutto chiara, sono stati proposti vari arrangiamenti tassonomici per le specie appartenenti a questo genere: secondo Whitaker e Bemis (1976) il genere *Cucurbita* si compone di 20 specie; Esquinas-Alcazar e Gulick (1983) ne considerano fino a 27, mentre Lira, Andres e Nee (1995) ne riconoscono 15. Sulla base di quanto proposto, *Plants of the World Online* documenta la presenza di 18 specie ufficialmente riconosciute (Tabella 4).

Tabella 4. Specie appartenenti al genere *Cucurbita* (in corsivo la nomenclatura binomiale della specie, di seguito il ricercatore che ne ha attribuito il nome) (*Plants of the World Online*, 2024)

Nomenclatura binomiale della specie	
<i>Cucurbita andreana</i> Naudin	<i>Cucurbita máxima</i> Duchesne
<i>Cucurbita argyrosperma</i> C. Huber	<i>Cucurbita melopepo</i> L.
<i>Cucurbita cordata</i> S. Watson	<i>Cucurbita moschata</i> Duchesne
<i>Cucurbita cylindrata</i> L.H. Bailey	<i>Cucurbita okechobeensis</i> (Small) L.H. Bailey
<i>Cucurbita digitata</i> A. Gray	<i>Cucurbita palmata</i> S. Watson
<i>Cucurbita ecuadorensis</i> Cutler & Whitaker	<i>Cucurbita pedatifolia</i> L.H. Bailey
<i>Cucurbita ficifolia</i> Bourché	<i>Cucurbita pepo</i> L.
<i>Cucurbita foetidissima</i> Kunth	<i>Cucurbita radicans</i> Naudin
<i>Cucurbita galeottii</i> Cogn.	<i>Cucurbita x scabridifolia</i> LH. Bailey

La zucca (*Cucurbita sp.*) è originaria del continente americano dove, assieme al mais (*Zea mays*) e ai fagioli (*Phaseolus vulgaris*), era alla base dell’agricoltura pre-ispánica. È con le invasioni ispaniche del 1492 che alcune di queste specie si sono diffuse in tutto il Nuovo Mondo, tanto che ad oggi rappresentano un’importante fonte alimentare per gran parte della popolazione mondiale venendo ampiamente coltivate in Asia meridionale, Africa, India, America Latina e Stati Uniti. Secondo la FAO (2017), la produzione globale di zucca dal 1994 al 2017 è stata di oltre 27 milioni di tonnellate. Sebbene la sua produzione sia distribuita in tutti i continenti, l’Asia è stata il principale produttore mondiale (Figura 6), con Cina e India che nel 2017 hanno prodotto rispettivamente 7.996.362 e 5.142.812 tonnellate, contribuendo per il 48% alla produzione globale di zucca, seguita da Russia, Ucraina, Stati Uniti e Messico (FAO, 2017).

Distribuzione della produzione di zucca nel mondo per continente (2017)

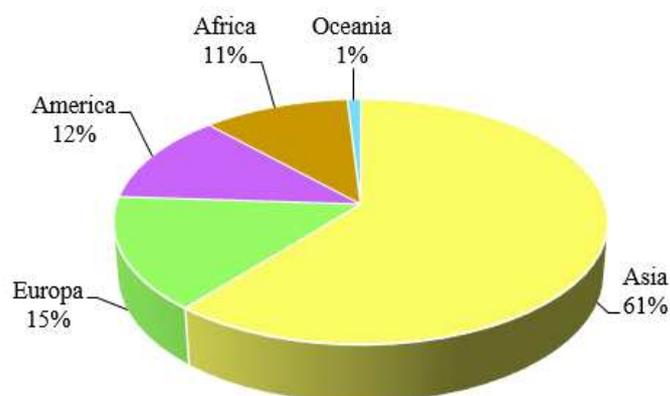


Figura 6. Rappresentazione grafica percentuale (%) della distribuzione della produzione di zucca nel mondo, per continente (2017) (FAO, 2017)

Tra le diverse specie addomesticate di Cucurbita, ve ne sono cinque che vengono comunemente coltivate: *C. argyrosperma*, *C. ficifolia*, *C. máxima*, *C. moschata* e *C. pepo*, le ultime tre di maggior rilevanza in termini di produzione agricola a livello mondiale (Lee *et al.*, 2003).

Le specie selvatiche e domestiche di Cucurbita presentano notevoli differenze. Le specie domestiche mostrano un'ampia varietà di colori, forme, dimensioni e conformazione esterna rispetto a quelle selvatiche, che risultano invece di dimensioni ridotte, con una superficie liscia, uniformi per forma e colore (Lira *et al.*, 1995). Inoltre, nelle specie coltivate, la domesticazione ha favorito una germinazione più omogenea, con un aumento delle dimensioni di frutti e semi. Le specie coltivate sono annuali, con una produzione di fiori, frutti e semi che varia a seconda delle specie.

I fiori sono monoici, gamopetali e unisessuali, e nascono in prossimità dell'ascella fogliare mediante impollinazione incrociata (Lira *et al.*, 1995). Si caratterizzano per le dimensioni generose e le corolle di forma tubulare-campanulata sui toni dal giallo chiaro all'arancio brillante.

I frutti si presentano come bacche modificate contenenti un numero abbondante di semi circondati dalla polpa. I frutti sono dotati di un rivestimento generalmente rigido e legnoso che emerge dallo strato esterno dell'ovario (esocarpo), mentre la polpa intorno al seme deriva dagli strati interni dell'ovario (mesocarpo ed endocarpo) (Lira *et al.*, 1995). Internamente, i semi sono circondati da uno strato esterno di tessuto che deriva dall'epidermide interna del carpello (endocarpo), mentre lo strato più intimo deriva dalla testa (rivestimento del seme) (Lira *et al.*, 1995).

Ai fini di una migliore identificazione, le cinque specie domestiche si differenziano fondamentalmente per forma, dimensioni e colore di stelo, foglie (nei nodi distali), rivestimento (piccioli e nervature principali nella lamina fogliare inferiore), peduncolo del frutto, frutto e semi.

La composizione delle zucche varia a seconda della specie e parte della pianta considerata, ma nel complesso gli studiosi sono concordi nell'affermare il suo interessante profilo nutrizionale dato il consistente contenuto di composti fitochimici e nutrienti essenziali: le foglie, i fiori, i semi e la polpa contengono composti con un'elevata attività biologica, mentre la buccia – sebbene venga comunemente scartata – ha un elevato contenuto di fibre e pectina, oltre ad un maggior contenuto di metaboliti secondari (polisaccaridi, flavonoidi, fenoli, lignine, minerali).

Nonostante le caratteristiche tipiche di ogni cultivar, è possibile delineare una costituzione generica condivisa dalle specie di *Cucurbita* di maggior rilievo agronomico (*C. pepo*, *C. moschata* e *C. máxima*), dove la polpa costituisce circa il 75% dell'intero frutto, mentre i sottoprodotti si attestano in un intorno del 20%, con la buccia che ricopre una frazione più variabile e di rilievo (2,6-16%) e coi semi presenti in quantità esigue (3,1-4,4%) (Rico *et al.*, 2020). Carboidrati, proteine e grassi sono quasi totalmente contenuti nei semi piuttosto che nella polpa e nella buccia; analogamente, la componente fibrosa e le ceneri grezze sono ampiamente contenute nei semi, seppur in misura minore rispetto alle componenti nutrizionali principali. Il cospicuo contenuto nutrizionale di cui si caratterizzano i semi si deve alla sua quota esigua di acqua (sempre inferiore al 25% in base del peso umido) (Rico *et al.*, 2020), componente invece largamente trattenuta da polpa e buccia, con un tenore idrico che varia dall'82 al 95% circa (Kulczyński e Gramza-Michałowska, 2019). Tra le tre specie considerate, *C. máxima* si distingue per avere un profilo nutrizionale tendenzialmente più elevato; viceversa, il contenuto di umidità è presente in misura maggiore e con contenuti simili in *C. pepo* e *C. moschata*. Il contenuto di ceneri, nonostante non sia uniforme nelle singole parti della zucca, dimostra avere delle analogie nelle tre specie di *Cucurbita* (Kim *et al.*, 2012) (Tabella 5). Nella valutazione della composizione chimica, profilo acidico, contenuto di tocoferoli e carotenoidi di *C. pepo*, *C. moschata* e *C. máxima*, Kim *et al.* (2012) hanno raccolto e suddiviso in tre parti (buccia, polpa e semi) campioni provenienti da oltre 20 zucche per ogni specie, i quali sono stati sottoposti a liofilizzazione e successiva conservazione a -70°C fino al momento dell'analisi.

Tabella 5. Composizione chimica (g/kg peso secco) delle zucche (*Cucurbitaceae*) per specie e per parte (valori medi \pm DS) (Kim *et al.*, 2012)

Nutrienti	Parte	Specie		
		<i>C. pepo</i>	<i>C. moschata</i>	<i>C. máxima</i>
Carboidrati	Polpa	26,23 \pm 0,20	43,39 \pm 0,84	133,53 \pm 1,44
	Buccia	43,76 \pm 0,74	96,29 \pm 1,11	206,78 \pm 3,25
	Semi	122,20 \pm 7,47	140,19 \pm 7,60	129,08 \pm 8,25
Proteine	Polpa	2,08 \pm 0,11	3,05 \pm 0,65	11,31 \pm 0,95
	Buccia	9,25 \pm 0,12	11,30 \pm 0,99	16,54 \pm 2,69
	Semi	308,83 \pm 12,06	298,11 \pm 14,75	274,85 \pm 10,04
Grassi	Polpa	0,55 \pm 0,14	0,89 \pm 0,11	4,20 \pm 0,23
	Buccia	4,71 \pm 0,69	6,59 \pm 0,41	8,69 \pm 0,99
	Semi	439,88 \pm 2,88	456,76 \pm 11,66	524,34 \pm 1,32
Fibre	Polpa	3,72 \pm 0,02	7,41 \pm 0,07	10,88 \pm 0,35
	Buccia	12,28 \pm 0,15	34,28 \pm 1,37	22,35 \pm 0,01
	Semi	148,42 \pm 0,55	108,51 \pm 8,36	161,54 \pm 6,79
Ceneri	Polpa	3,44 \pm 0,44	10,36 \pm 0,01	10,53 \pm 0,11
	Buccia	6,30 \pm 0,06	13,96 \pm 0,16	11,20 \pm 0,64
	Semi	55,02 \pm 1,00	53,15 \pm 0,20	44,22 \pm 0,36
Umidità	Polpa	967,70 \pm 0,15	942,31 \pm 0,08	840,43 \pm 0,17
	Buccia	935,98 \pm 0,27	871,86 \pm 0,09	756,79 \pm 0,44
	Semi	74,06 \pm 0,91	51,79 \pm 6,04	27,51 \pm 0,21

Oggigiorno, vi è un rinnovato interesse per i semi della zucca come fonte alimentare, dal momento che sono una buona fonte di antiossidanti e contengono quantità apprezzabili di fitonutrienti. Sono poveri di sodio e ricchi di calcio, potassio, magnesio e fosforo; sono inoltre un'ottima fonte di oligoelementi tra cui rame, ferro, zinco e manganese (Yadav *et al.*, 2010). I semi sono una notevole fonte di oli e proteine: dopo la rimozione del tegumento, il loro contenuto lipidico e proteico si aggira intorno al 50% e al 35%, rispettivamente (Robinson e Decker-Waters, 1997). Nello studio di Kim *et al.* (2012), i semi di *C. pepo*, *C. moschata* e *C. máxima* hanno evidenziato un contenuto del 18,6-20,1% di acidi grassi saturi (SFA), 14,9-32,4% di acidi grassi monoinsaturi (MUFA) e di 35,7-56,8% di acidi grassi polinsaturi (PUFA). I semi di *C. máxima* hanno espresso un contenuto di PUFA significativamente più alto rispetto alle altre due specie, con valori di PUFA tre volte maggiori rispetto ai MUFA. I semi di *C. pepo* e *C. moschata* hanno mostrato quantità simili di acido palmitico (C16:0), acido oleico (C18:1) e acido linoleico (C18:2), i primi due con un contenuto maggiore rispetto a quello presente in *C. máxima*, caratterizzata invece dal più alto contenuto di acido linoleico (56,60%) (Tabella 6).

Dai semi è possibile ricavare l'olio mediante una prima fase di spremitura a freddo e una successiva estrazione tramite solvente. L'olio ottenuto è di alto valore nutrizionale in quanto principalmente costituito da acidi grassi insaturi, tocoferoli, β -carotene e luteina (Stajcic *et al.*, 2022).

Tabella 6. Profilo acidico (% grassi) nei semi di zucca (*Cucurbitaceae*) per specie (i risultati sono espressi come % della frazione totale di acidi grassi. Valori medi \pm DS; n.d. = non definito) (Kim *et al.*, 2012)

Acidi grassi	Specie		
	<i>C. pepo</i>	<i>C. moschata</i>	<i>C. máxima</i>
Acido miristico (C14:0)	0,23 \pm 0,06	n.d.	0,16 \pm 0,01
Acido palmitico (C16:0)	12,97 \pm 0,72	12,78 \pm 0,11	10,84 \pm 0,12
Acido eptadecanoico (C17:0)	n.d.	n.d.	0,18 \pm 0,01
Acido stearico (C18:0)	4,67 \pm 0,15	7,33 \pm 0,20	5,84 \pm 0,03
Acido oleico (C18:1)	32,40 \pm 0,56	31,34 \pm 0,12	14,83 \pm 0,05
Acido linoleico (C18:2)	36,40 \pm 0,82	35,72 \pm 0,25	56,60 \pm 0,29
Acido arachico (C20:0)	0,39 \pm 0,06	n.d.	0,36 \pm 0,02
Acido eicosenoico (C20:1n9)	n.d.	n.d.	0,07 \pm 0,00
Acido α -linolenico (C18:3n3)	n.d.	n.d.	0,24 \pm 0,01
Acido docosanoico (C22:0)	0,37 \pm 0,06	n.d.	0,09 \pm 0,01
SFA	18,62 \pm 0,64	20,11 \pm 0,11	17,47 \pm 0,13
MUFA	32,40 \pm 1,66	31,34 \pm 0,12	14,90 \pm 0,04
PUFA	36,40 \pm 0,82	35,72 \pm 0,25	56,84 \pm 0,29

I semi di zucca contengono un'elevata quantità di tocoferolo, che conferisce stabilità ai semi e all'olio. Nello specifico, l' α -tocoferolo ha proprietà antiossidanti, antinfiammatorie e modula la risposta immunitaria, mentre l' γ -tocoferolo è un potente agente antinfiammatorio e antiaterosclerotico (Singh e Kumar, 2024). Kim *et al.* (2012) hanno rilevato contenuti simili sia per α -tocoferolo che per γ -tocoferolo in *C. pepo* e *C. moschata*, nonostante i semi di entrambe le specie contengano quasi tre volte il contenuto di γ -tocoferolo rispetto all' α -tocoferolo (Tabella 7). *C. máxima* riporta una tendenza opposta, con valori maggiori di α -tocoferolo nella polpa e nella buccia, e valori inferiori nei semi per entrambi i tocoferoli (Kim *et al.*, 2012) (Tabella 7).

Il β -carotene agisce come precursore della vitamina A e ha un ruolo fondamentale nella risposta immunitaria del nostro corpo, oltre a regolare le funzioni metaboliche del glucosio e proteggere dal diabete (Singh and Kumar, 2024). Kim *et al.* (2012) hanno rilevato in tutte e tre le specie di *Cucurbita* livelli massimi di β -carotene nella buccia, con un contenuto dalle 5 alle 15 volte superiore rispetto a quello presente nella polpa, mentre *C. máxima* ha riportato i contenuti di β -carotene più elevati per tutte le componenti della zucca (Tabella 7).

Tabella 7. Contenuto di tocoferolo (mg/kg peso secco) e carotenoidi (mg/kg peso secco) nelle zucche (*Cucurbitaceae*) per specie e per parte (valori medi \pm DS; n.d. = non definito) (Kim et al., 2012)

Nutrienti	Parte	Specie		
		<i>C. pepo</i>	<i>C. moschata</i>	<i>C. máxima</i>
α -tocoferolo	Polpa	1,40 \pm 0,01	1,54 \pm 0,99	2,31 \pm 0,03
	Buccia	4,49 \pm 0,72	6,17 \pm 2,19	9,62 \pm 0,79
	Semi	21,33 \pm 3,65	25,74 \pm 0,73	20,79 \pm 1,33
γ -tocoferolo	Polpa	n.d.	0,52 \pm 0,01	n.d.
	Buccia	0,66 \pm 0,09	n.d.	3,55 \pm 0,17
	Semi	61,65 \pm 17,66	66,85 \pm 4,90	28,70 \pm 2,13
β -carotene	Polpa	1,48 \pm 0,05	5,70 \pm 0,39	17,04 \pm 12,18
	Buccia	39,48 \pm 0,24	68,30 \pm 2,02	123,19 \pm 30,61
	Semi	17,46 \pm 18,29	7,15 \pm 1,50	31,40 \pm 3,02

Il colore della polpa vira da un giallo intenso ad un arancio brillante in base al contenuto di carotenoidi, il quale viene influenzato dalla durata del periodo di conservazione (Jaswir *et al.*, 2014). Il contenuto dei carotenoidi varia anche in base alle lavorazioni cui viene sottoposta la zucca: Zdunic *et al.* (2016) hanno riportato che la quantità totale di carotenoidi nella zucca non lavorata era superiore a quella di alcuni prodotti lavorati, come marmellate e succhi (86,3 μ g/g vs. 63,9 μ g/g e 28,6 μ g/g, rispettivamente).

È stato documentato che i semi della zucca contengono anche fattori antinutrizionali (ANF), tra cui alcaloidi, fitati, ossalati, nitrati e acido cianidrico. Nonostante siano noti per gli effetti deleteri sulla salute, se consumati in quantità limitate possono agire come agenti antiossidanti, aiutando a ridurre il carico glicemico (Singh e Kumar, 2024); nella letteratura, inoltre, non vengono segnalati problemi di salute derivati dall'assunzione di questi composti da parte di animali, probabilmente perché la loro concentrazione era inferiore al limite di tossicità (Achilonu *et al.*, 2018).

Inoltre, nella zucca sono presenti le cucurbitacine, un gruppo di triterpeni tetraciclici presenti sia nella famiglia delle Cucurbitaceae che in altre famiglie di piante, noti per il loro sapore amaro e tossicità. Questi composti si concentrano maggiormente nei frutti e nelle radici delle piante mature, e in misura minore nelle foglie, negli steli e nei semi (Valdez-Arjona e Ramirez-Mella, 2019).

La zucca (*Cucurbita sp.*) svolge un ruolo fondamentale nell'economia e nella cultura di diverse società, tanto che l'interesse per la zucca e i prodotti a base di zucca da parte dell'industria alimentare, agricola, farmaceutica e mangimistica è notevolmente aumentato negli anni.

Da secoli la zucca viene coltivata a scopo alimentare, con frutti, semi, fiori e foglie che trovano impiego culinario. Sebbene nella cucina tradizionale la polpa venga utilizzata per la produzione di puree, prodotti surgelati, omogenizzati, succhi e marmellate (Kulczyński e Gramza-Michałowska, 2019), secondo le nuove tendenze dell'industria alimentare, la zucca trova applicazione come ingrediente funzionale nelle preparazioni

di prodotti a base di carne, panificati, latticini e bevande sottoforma di polvere e farina ottenute dall'essiccazione e successiva macinazione della polpa. La lavorazione industriale della zucca comporta la separazione della parte desiderata (polpa) dai semi, i quali vengono separati per essere puliti e fatti essiccare, ed essere infine macinati in polvere o pressati per estrarne l'olio (Singh e Kumar, 2024) (Figura 7). Se non viene previsto il recupero dei semi, dalla lavorazione della zucca viene generata una cospicua quantità di sottoprodotti che vengono per lo più scartati come rifiuti agroindustriali; tuttavia, sono ottime fonti di ingredienti funzionali, tanto che in molte località dell'America Latina e altre parti del mondo, fiori e foglie vengono consumati come verdure, mentre i semi vengono gustati tostati (Lira *et al.*, 1995).

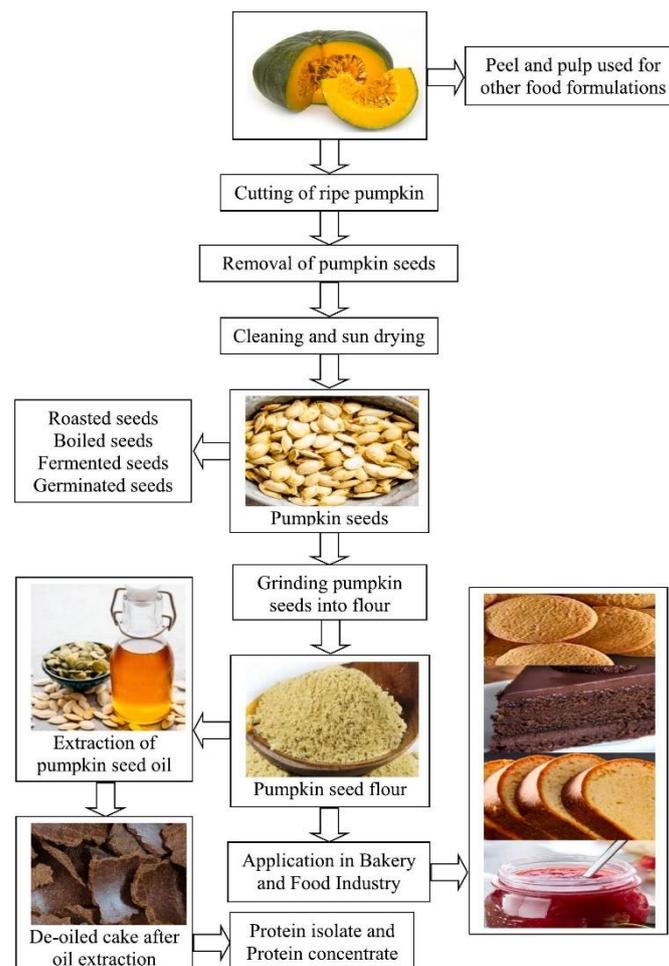


Figura 7. Lavorazione della zucca e valorizzazione degli scarti (Singh e Kumar, 2024)

Le zucche vengono anche utilizzate a scopo ornamentale e la loro richiesta cresce esponenzialmente in vista di Halloween; è in questa occasione che a livello globale – ma nella fattispecie in America – viene generato il quantitativo maggiore di scarti (Kim *et al.*, 2012).

La zucca trova anche impiego come medicina tradizionale alternativa per problemi di salute, da sempre una pratica molto comune a livello globale e che dimostra avere ancora un'importante risonanza nei Paesi in via di sviluppo (Kim *et al.*, 2012). Alla zucca vengono riconosciute proprietà benefiche antidiabetiche, antipertensive, antitumorali, immunomodulanti, antibatteriche, anticolesterolemiche, antinfiammatorie e antalgiche (Achilonu *et al.*, 2018; Yadav *et al.*, 2010).

Il settore della mangimistica si sta interessando alle possibili integrazioni della zucca e suoi sottoprodotti nell'alimentazione degli animali allevati. Al fine di rendere il sistema alimentare più resiliente, i ricercatori stanno studiando soluzioni innovative e sostenibili che possano sostituire le classiche fonti alimentari con materie prime alternative, dati i sempre più elevati prezzi di mercato e la competitività uomo-animale nel consumo delle risorse. Nell'Unione Europea, rispetto alle fonti proteiche, le principali nei mangimi animali, sono costituite da panelli e farine di semi oleosi (64%), cereali (23%) e co-prodotti dell'industria alimentare (11%) (Rakita *et al.*, 2013). Al riguardo, l'integrazione con scarti della zucca nell'alimentazione animale offre interessanti spunti di ricerca che, per economicità e facilità di reperimento, si concentrano su panelli, olio e farina ottenuti dai suoi semi.

I panelli di semi di zucca (*pumpkin seed cake* – PSC) sono sottoprodotti della lavorazione dell'olio di semi di zucca e si ottengono mediante spremitura a freddo dei semi una volta isolato l'olio. Sono un'ottima fonte proteica, ma contengono comunque buoni livelli di lipidi poiché, anche dopo spremitura, permane una quota di olio. L'olio di semi di zucca (*pumpkin seed oil* – PSO) è anch'esso un sottoprodotto della lavorazione della zucca e si caratterizza per un maggiore contenuto di acidi grassi insaturi (55,55%) rispetto agli acidi grassi saturi (44,45%) (Habib *et al.*, 2015). La farina di semi di zucca (*pumpkin* o *squash seed meal* – PSC o SSM) viene ottenuta dalla tostatura e successiva macinazione dei semi.

La composizione chimica di questi sottoprodotti viene riportata nella seguente tabella riassuntiva (Tabella 8).

Tabella 8. Composizione chimica dei sottoprodotti della zucca impiegati come alimento funzionale nelle diete animali (valori espressi in % sul secco; gli acidi grassi vengono espressi in % sul secco e % degli acidi grassi totali. n.d. = non definito)

Sottoprodotto utilizzato	Fibra (% SS)	Proteine (% SS)	(% SS)	Grassi (% acidi grassi totali)	Ceneri (% SS)	Riferimenti bibliografici
Panelli di semi di zucca (<i>pumpkin seed cake</i> – PSC)	23,10	38,8-62,3	9,0-36,2	acido palmitico (12,3-13,2) acido stearico (4,9-5,2) acido oleico (28,8-29,6) acido linoleico (49,0-51,2)	7,5-8,1	Boldea <i>et al.</i> , 2021 Budžaki <i>et al.</i> , 2018 Keller <i>et al.</i> , 2021 Sobczak <i>et al.</i> , 2020
Olio di semi di zucca (<i>pumpkin seed oil</i> – PSO)			100	acido palmitico (17,39) acido stearico (27,06) acido oleico (40,58) acido linoleico (14,97)		Habib <i>et al.</i> , 2015
Farina di semi di zucca (<i>pumpkin seed meal</i> – PSM; <i>squash seed meal</i> – SSM)	16,24	30,60-33,63	33,4-34,5	n.d.	4,5-4,8	AOAC, 1995

Zucca e sottoprodotti nell'alimentazione animale

L'alimentazione influenza in modo sostanziale le produzioni animali, poiché una corretta selezione dei mangimi e razioni bilanciate consentono di migliorare le prestazioni produttive e la loro composizione chimica.

La strategia alimentare più comune per migliorare il profilo lipidico dei prodotti animali (carne, latte e uova), vede l'integrazione di grassi alimentari alla dieta di base (Boldea *et al.*, 2021). Il trasferimento del contenuto lipidico dalla dieta ai prodotti animali è stato valutato da numerosi autori. Boldea *et al.* (2021) hanno valutato la sostituzione della farina di girasole con panelli di semi di zucca (PSC) nelle diete di capre Murciano-Granadina in lattazione, rilevando come non vi siano state variazioni nella produzione. Il profilo lipidico del latte ha subito un significativo miglioramento, con una riduzione della quota di acidi grassi saturi (SFA) a favore di quelli insaturi (MUFA e PUFA) e un aumento del rapporto $n-6/n-3$, presumibilmente a causa dell'elevata quantità di acido linoleico presente nel PSC, che ha contribuito a un aumento dell'acido grasso $n-6$ totale nel latte (Boldea *et al.*, 2021). L'acido stearico (prodotto della bioidrogenazione dei PUFA) e l'acido linoleico (principale precursore degli acidi linoleici coniugati (CLA) nel latte) sono stati riscontrati in misura maggiore nel latte di capre alimentate con panelli di semi di zucca, mettendo in luce la possibilità di creare prodotti dal profilo nutrizionale arricchito mediante integrazioni alimentari con panelli di semi di zucca.

I panelli di semi di zucca sono stati utilizzati con successo anche per sostituire la farina di soia nelle diete di capre alpine. Klir *et al.* (2017) hanno dimostrato come l'assunzione di PSC non modifica la produzione di latte, mentre il profilo degli acidi grassi ha evidenziato una tendenza opposta rispetto quanto misurato da Boldea *et al.* (2021), probabilmente per il diverso contenuto nutrizionale iniziale delle due diete di controllo.

Parimenti alle sperimentazioni sopracitate, i panelli di semi di zucca usati in sostituzione alla farina di soia non hanno sortito alcun effetto sulla produzione lattifera di bovine Holstein-Frisien, così come per l'assunzione di sostanza secca e la digeribilità apparente del tratto totale (Li *et al.*, 2021).

Generalmente, per aumentare il valore dietetico del latte, nelle razioni alimentari delle bovine da latte vengono incluse quote elevate di foraggio che, per economicità e praticità, viene più frequentemente somministrato conservato come insilato di mais. Rispetto all'insilato di mais, l'insilato di zucca ha un maggior contenuto di carotenoidi e PUFA e minori livelli di MUFA, caratterizzandosi per l'elevato contenuto di acido palmitico, stearico, oleico e linoleico, tutti composti riscontrati nel latte di bovine Simmental alimentate con integrazione di insilato di *Cucurbita maxima* (12% e 17%) in sostituzione all'insilato di mais (Halik *et al.*, 2018). È stato inoltre rilevato un significativo aumento della produzione di latte e del suo contenuto di α e β -carotene, luteina, zeoxantina e violaxantina, aumenti che si sono tradotti in un più elevato stato antiossidante totale (TAS) del latte (Halik *et al.*, 2018).

Nel settore dell'acquacoltura, gli ingredienti a base vegetale trovano una sempre maggior applicazione nella formulazione delle razioni alimentari poiché danno la possibilità di sostituire le farine di pesce e di soia, limitando così i costi di produzione e gli oneri ambientali. A tal proposito, Sezgin e Aydın (2021) hanno scoperto che i panelli di semi di zucca possono sostituire interamente la farina di soia nelle diete per gli

avannotti di carpa comune (*Cyprinus carpio*). Infatti, nei pesci alimentati con le diete a base di PSC sono stati registrati parametri di crescita e ingestione alimentare migliori, mentre il tasso di sopravvivenza e i parametri ematologici non hanno subito variazione alcuna (Sezgin e Aydin, 2021). Nello specifico, l'aumento di peso e l'ingestione del mangime sono aumentati con inclusioni di panelli di semi di zucca dal 33% al 66%, integrazioni che hanno inoltre ridotto le concentrazioni di colesterolo e trigliceridi ematici (Sezgin e Aydin, 2021). Risultati analoghi sono stati ottenuti da Abo-State *et al.* (2022), dove le migliori prestazioni produttive (peso finale, assunzione di mangime e rapporto di conversione alimentare) sono stati riscontrati negli avannotti di Tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) alimentati con diete contenenti olio di semi di zucca al 50% e 75% d'inclusione nella dieta.

In un altro studio è stato osservato che l'olio di semi di zucca, oltre ad avere una buona influenza sulle performance produttive, agisce positivamente nella gestione dello stress da caldo (*heat stress*) e migliora le performance riproduttive dei conigli. Secondo Abdelnour *et al.* (2023), l'olio di semi di zucca integrato ai mangimi convenzionali di conigli in accrescimento ha mitigato gli effetti dell'*heat stress*, oltre ad aver aumentato l'incremento di peso vivo e l'assunzione giornaliera di alimento. L'assunzione di olio di semi di zucca ha inoltre ridotto i livelli di cortisolo e corticosterone ematici nei conigli esposti a temperature ambientali elevate, migliorando i livelli dell'emoglobina e la conta dei globuli bianchi (Abdelnour *et al.*, 2023). L'olio ha avuto effetti benefici anche sull'attività degli enzimi epatici e renali, riducendo l'accumulo di grassi nel fegato e nei vasi sanguigni (Abdelnour *et al.*, 2023). Bakeer *et al.* (2021) hanno osservato come l'assunzione di olio di semi di zucca (0,5%) abbia migliorato la qualità dello sperma, rilevando un aumento della vitalità, della motilità di massa ed individuale, oltre che una riduzione della quota di spermatozoi anomali. Nelle femmine, invece, l'olio di semi di zucca non ha influenzato i livelli sierici di estradiolo e progesterone in nessuna fase della gravidanza e non ha determinato effetti negativi sulla ricettività sessuale, sulla fertilità, sulle dimensioni delle nidiate e sul numero di conigli nati vivi (Bakeer *et al.*, 2021).

In quanto agli animali oggetto della presente tesi, tra le specie animali allevate, gli avicoli necessitano di brevi cicli di produzione attraverso i quali un'ampia gamma di sottoprodotti e scarti agroalimentari può essere utilizzata come mangime e poi convertita efficacemente in prodotti dall'elevato valore biologico (carne e uova), fornendo una possibile soluzione al problema della competizione uomo-animale per il consumo delle risorse.

Hajati *et al.* (2011) hanno analizzato gli effetti dell'olio di semi di zucca (*Cucurbita pepo*) sulle prestazioni di polli broiler Ross 308 (giorno 29-49) a diversi livelli di inclusione, rilevando come l'integrazione fino a 10 g/kg di mangime non abbia avuto effetti significativi sull'assunzione giornaliera di mangime, sull'incremento di peso corporeo, sulla composizione della carcassa e sullo spessore del grasso addominale, mentre le concentrazioni di colesterolo e trigliceridi plasmatici sono state significativamente ridotte, così com'è stato registrato un calo della mortalità (Hajati *et al.*, 2011). Risultati simili sono stati osservati da Aguilar *et al.* (2011) su polli broiler Cobb 500 (da 1 a 49 giorni di età), mostrando come l'inclusione di farina di semi di diverse varietà di *Cucurbita moschata* fino a 66 g/kg di mangime abbia migliorato le prestazioni (aumento

dell'ingestione di mangime e incremento di peso corporeo) e la resa della carcassa, con un aumento del peso di petto e fusi e un calo della quota di grasso addominale e visceri, parametri questi ultimi sensibilmente migliorati con livelli di integrazione alimentare di farina di semi di zucca maggiori (100 g/kg), che hanno portato alla diminuzione del contenuto di trigliceridi e colesterolo totale (Aguilar *et al.*, 2001).

Una possibile sostituzione sia della farina che dell'olio di soia nelle diete degli avicoli è stata studiata anche da Martínez *et al.* (2010a), dove il parziale impiego di farina di semi di zucca (10%) in polli broiler Cobb 500 (ciclo 1-49 d) non ha influenzato le prestazioni produttive (così come rilevato da Hajati *et al.*, 2011), mentre il contenuto di grasso addominale è apparso inferiore alle diete di controllo, risultato favorevole sia alla macellazione che all'acquisto, poiché il grasso è una componente indesiderata (Martínez *et al.*, 2010a). In aggiunta, attraverso un *panel test* è stata valutata la qualità sensoriale di petto e coscia provenienti dagli animali alimentati con le due diete, non evidenziando differenze significative nell'odore, colore, sapore e durezza della carne, dimostrando come sia possibile sostituire – anche in misura limitata – le comuni fonti alimentari impiegate nella formulazione di mangimi per polli broiler (Martínez *et al.*, 2010a).

L'effetto dell'integrazione con i sottoprodotti della lavorazione della zucca è stato testato anche sulle performance produttive e sulla composizione corporea delle galline ovaiole.

Herkel *et al.* (2014) hanno osservato un miglioramento delle prestazioni produttive nelle galline ovaiole alimentate con integrazione di olio di semi di zucca, le quali hanno prodotto mediamente 5,31 uova/capo/settimana con un peso medio di 64,62 g rispetto alle 4,84 uova/capo/settimana dal peso medio di 62,88 g prodotte dal gruppo di controllo.

Poiché olio e panelli di soia sono tipicamente presenti nell'alimentazione delle galline ovaiole, è stata vagliata la possibilità di sostituire in modo parziale questi ingredienti mediante integrazione con farina di semi di zucca a diversi livelli d'inclusione. Martínez *et al.* (2010b) non hanno rilevato variazioni significative nelle produzioni, con intensità di deposizione e peso medio delle uova che non sono state influenzate dall'inclusione di farina di semi di zucca. L'aggiunta di farina di semi di zucca ha però aumentato il contenuto di acidi grassi nel siero ematico delle galline con una riduzione del rapporto SFA/UFA, oltre che il contenuto di PUFA grazie ad un aumento di acido linoleico (LA, C18:2), acido α -linolenico (ALA, C18:3 $n-3$), acido docosaesanoico (DHA, C22:6 $n-3$), acido eicosapentanoico (EPA, C20:5 $n-3$) e acido arachidonico (AA, C20:4 $n-6$) (Martínez *et al.*, 2010b). È stato inoltre osservato che la somministrazione di mangimi arricchiti con farina di semi di zucca riduce significativamente i livelli ematici di colesterolo totale e di lipoproteine a bassa e bassissima densità (LDL e VLDL), mentre il livello di lipoproteine ad alta densità (HDL) aumenta progressivamente man mano che aumenta l'inclusione della farina di semi di zucca, aumento probabilmente favorito dall'elevato contenuto dell'acido linoleico e α -linolenico (Martínez *et al.*, 2010b).

La riduzione del rapporto tra acidi grassi saturi e polinsaturi è stata confermata in uno studio successivo di Martínez *et al.* (2012), dove l'inclusione di farina di semi di *Cucurbita maxima* (10%) nella dieta di galline ovaiole ha limitato il rapporto $n-6/n-3$ (da 7,65 a 6,47) a causa di un aumento pari a più del doppio del

contenuto di acidi grassi $n-3$ rispetto alla dieta di controllo (da 454 mg/100 g a 1095 mg/100 g di tuorlo). Tale livello d'inclusione nella dieta ha arricchito l'uovo con acido linoleico (da 22 a 667 mg/100 g) e α -linolenico (da 457 a 649 mg/100 g) e ha ridotto la quantità di acido arachidonico (da 62 a 50 mg/100 g) (Martínez *et al.*, 2012).

Livelli d'inclusione inferiori di farina di semi di zucca (9%) nella dieta di galline ovaiole non hanno invece influenzato le concentrazioni di SFA totali e i MUFA nelle uova, mentre i PUFA totali sono aumentati significativamente registrando una diminuzione del rapporto $n-6/n-3$ (Vlaicu e Panaite, 2021). Così come già riportato da Martínez *et al.* (2010b) (2012), tale risultato si deve all'aumento di acido α -linolenico (0,33 vs 0,21 g/100 g) e acido linoleico (20,65 vs 18,37 g/100 g), a discapito dell'acido arachidonico, che ha subito un calo del 3,91% rispetto alla dieta di controllo. Inoltre, l'inclusione di farina di semi di zucca ha ridotto significativamente la concentrazione di colesterolo dell'11,31% nel tuorlo e del 10,38% nell'uovo rispetto al gruppo di controllo (Vlaicu e Panaite, 2021). Nelle uova ottenute con l'integrazione dietetica di farina di semi di zucca è stata riscontrata una concentrazione significativamente più elevata di polifenoli e composti antiossidanti rispetto alla dieta di controllo, condizione che ha inciso positivamente sulla durata di conservazione delle uova conservate in frigorifero (5°C) e a temperatura ambiente (21°C) per 28 giorni, in quanto ha ritardato l'instaurarsi dei processi di ossidazione lipidica e di denaturazione proteica (Vlaicu e Panaite, 2021). Una durata maggiore del periodo di conservabilità si riflette in valori inferiori di pH dell'albume per entrambe le condizioni di conservazione, andando a ridurre il deterioramento delle proteine e avvalorando la tesi di Surai e Sparks (2021) secondo cui l'assunzione di alimenti naturalmente ricchi di antiossidanti (zucca in questo caso) andrebbe a stabilizzare il contenuto di PUFA nel tuorlo d'uovo delle galline ovaiole, fenomeno in grado di prolungare la durata di conservazione delle uova, evitando l'insorgenza di odori sgradevoli.

L'effetto dell'integrazione con panelli di semi di zucca è stato infine testato anche sulle performance delle tacchine riproduttrici. Machebe *et al.* (2013) hanno rilevato un significativo aumento del numero di uova deposte, della percentuale di uova fertili e della schiudibilità delle uova di tacchine riproduttrici alimentate con panelli di semi di zucca. Le uova ottenute dal gruppo sperimentale hanno mostrato una bassa mortalità embrionale, con una mortalità precoce del 12% rispetto al 17% del gruppo di controllo, e una mortalità tardiva pari alla metà di quella ottenuta dal gruppo di controllo (25% vs 50%) (Machebe *et al.*, 2013).

La ricerca scientifica su sottoprodotti e rifiuti della zucca in alimentazione animale mostra avere un buon potenziale capace di migliorare la qualità di carne, latte e uova, nonché la salute degli animali. L'idea, in ogni caso, è l'impiego di zucche non adatte al consumo umano o di scarti generati lungo la filiera alimentare. In questo modo, l'impatto ambientale della produzione zootecnica potrebbe essere ridotto, contribuendo alla sostenibilità dei sistemi di produzione animale e andando a soddisfare la crescente richiesta di prodotti di origine animale.

Alimentazione delle galline e qualità dell'uovo

Le uova sono la fonte alimentare di origine animale più consumata al mondo grazie al valore economico favorevole, la facilità di preparazione e l'assenza di restrizioni etiche e religiose nel consumo. Sono un alimento ad elevata densità di nutrienti, fonte di proteine ad alto valore biologico, vitamine liposolubili (A, D, K), idrosolubili (biotina, folato, riboflavina, vit. B₁₂) e minerali (fosforo, ferro, iodio e selenio) e hanno un basso contenuto calorico (75 kcal/uovo) (CREA, 2017; Gautron *et al.*, 2022). Le uova sono composte per il 77% da acqua, 12% da proteine, 10% da lipidi, 1% da carboidrati e minerali in tracce (Gautron *et al.*, 2022) (Figura 8). In media, un uovo pesa 58-60 grammi, con l'albume che rappresenta la quota principale (56,9%), seguito da tuorlo (32,8%) e guscio (10,3%) (Belitz *et al.*, 2008). Le uova sono capaci di soddisfare i fabbisogni nutrizionali dell'uomo poiché complete dal punto di vista nutrizionale, con proteine e lipidi presenti nelle porzioni edibili. In termini di peso, le proteine si concentrano per un 10% nell'albume e per un 15% nel tuorlo dove, assieme ai lipidi presenti (33%) (Figura 8), sono impegnate nell'assemblaggio di lipoproteine a bassa e alta densità, composti che rappresentano i principali costituenti del tuorlo con un rapporto complessivo lipidi/proteine di 2:1 (Anton, 2007; Gautron *et al.*, 2022).

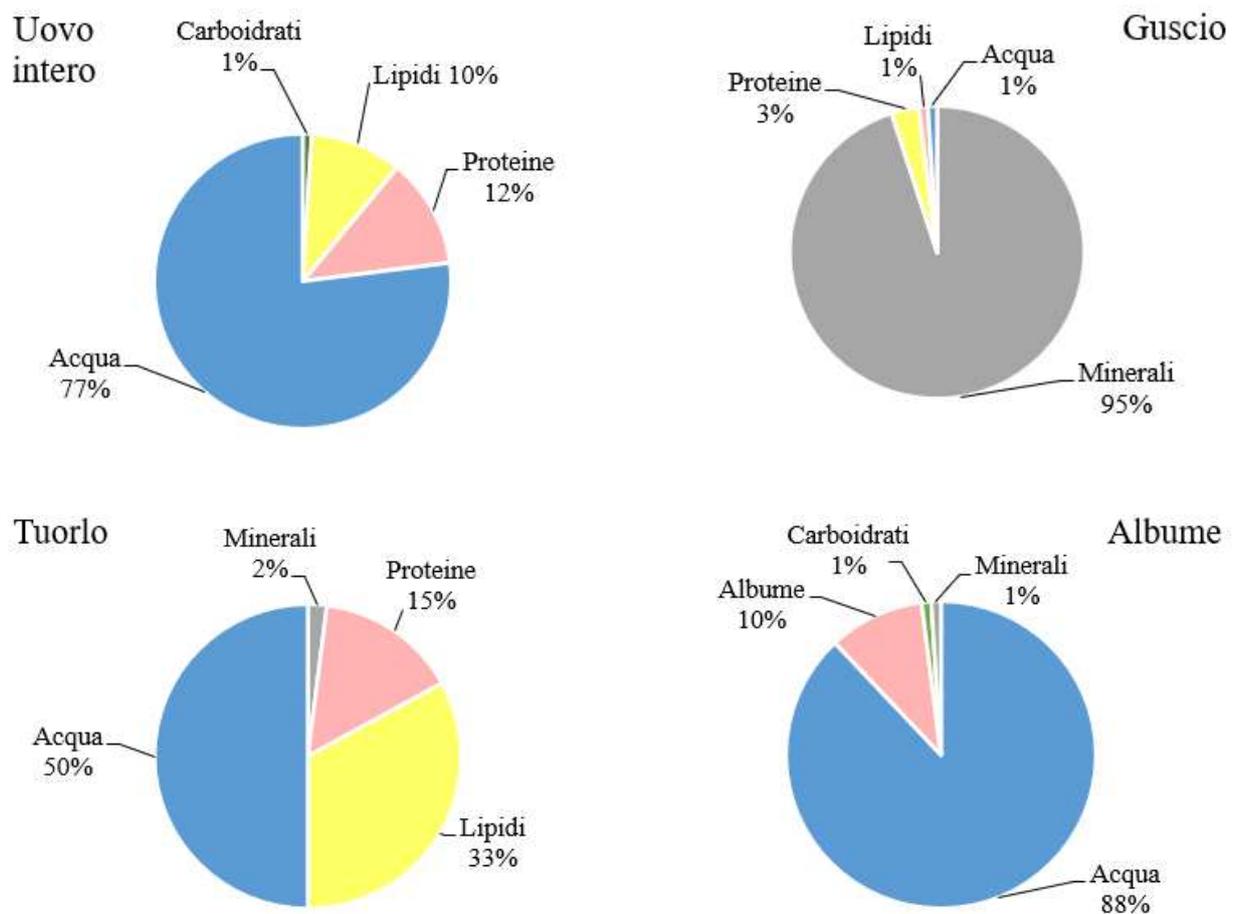


Figura 8. Rappresentazione grafica dei principali componenti dell'uovo: proporzione percentuale (%) di proteine, lipidi, acqua, minerali e carboidrati nell'uovo intero, guscio, albume e tuorlo (Gautron *et al.*, 2022)

Poiché le uova sono un alimento di base ampiamente consumato, diversi sono i criteri qualitativi che incidono sull'opinione dei consumatori all'acquisto, come le dimensioni e la pulizia esterna dell'uovo, la resistenza e la qualità del guscio, la composizione nutrizionale interna dell'uovo e il colore del tuorlo. Questi aspetti vengono influenzati da una serie di fattori come la tipologia e la densità di allevamento, l'applicazione delle comuni pratiche di gestione e delle misure di biosicurezza, l'età e la linea genetica di appartenenza delle galline ovaiole. Tra tutti, l'alimentazione ha una forte influenza sui parametri sensoriali, tecnologici e nutrizionali d'interesse, e poiché deve soddisfare le esigenze fisiologiche e nutrizionali delle galline ovaiole in tutte le varie fasi di sviluppo e produzione e deve essere monitorata in modo costante e accurato.

Un aspetto critico per l'industria della produzione di uova e determinante all'acquisto è la qualità del guscio dell'uovo poiché, se la sua integrità viene compromessa, può veicolare l'ingresso di patogeni nell'uovo portando ad una sua contaminazione con conseguenti rischi nel consumo, oltre a ridimensionare la percezione del consumatore nei confronti della qualità del prodotto, che viene considerato non idoneo. Nel mantenimento delle caratteristiche meccaniche del guscio, l'integrazione alimentare di oligoelementi si rivela essere il metodo più comune per garantirne la qualità (Gautron *et al.*, 2022). In tal senso, l'assunzione alimentare di zinco, calcio e manganese migliora le proprietà meccaniche del guscio d'uovo in quanto influenza positivamente la formazione di cristalli di calcite e la regolazione della relativa struttura cristallina, andando ad aumentare lo spessore del guscio, rendendolo più resistente (Swiatkiewicz e Koreleski, 2008).

La composizione interna dell'uovo è influenzata dalla qualità complessiva, dalla qualità dell'albume e dalla qualità del tuorlo. Tra tutte, la qualità del tuorlo prevale nell'influenzare le preferenze del consumatore, che tiene conto di colore, consistenza e presenza di eventuali odori anomali.

La colorazione del tuorlo dell'uovo è una caratteristica sensoriale di elevato interesse commerciale poiché i consumatori la associano alla qualità e alla freschezza del prodotto. Il colore del tuorlo dipende dal contenuto di carotenoidi e xantofille assunti con la dieta, con luteina e zeaxantina che assumono un ruolo chiave nella sua pigmentazione (Nys, 2000), presenti in forma altamente biodisponibile nel tuorlo, meno dell'1% della frazione lipidica del tuorlo è rappresentato da carotene e xantofille (CREA, 2017). Poiché l'assorbimento di queste sostanze da parte degli animali è influenzato dal consumo di fonti alimentari ricche di grassi (Nys, 2000), il colore del tuorlo può essere intensificato da un'adeguata composizione lipidica del mangime. In questo senso, un elevato rapporto tra acidi grassi saturi e polinsaturi può determinare uova con un contenuto di PUFA migliorato (Kim *et al.*, 2012). Tuttavia, l'aumento del grado d'insaturazione degli acidi grassi nella dieta si riflette in quello delle uova, riducendo la stabilità ossidativa, con conseguente diminuzione della conservabilità e qualità dei prodotti.

Una strategia per prevenire o ridurre il processo ossidativo vede l'arricchimento dietetico con acidi grassi $n-3$ in modo da ridurre il contenuto di acidi grassi $n-6$ nel tuorlo (Grobas *et al.*, 2001). Per ottenere uova con un contenuto migliorato in PUFA $n-3$, sono state sviluppate due tecniche di arricchimento alimentare: il primo metodo, e anche quello più comune, vede l'integrazione alimentare con semi oleosi e relativi oli per ottenere

uova con un tuorlo arricchito in acido α -linolenico (ALA, C18:3 $n-3$) e acido docosaesainico (DHA, C22:6 $n-3$); il secondo metodo prevede l'inclusione di DHA preformato nelle diete delle galline ovaiole, solitamente sottoforma di olio di pesce (Surai e Sparks, 2001).

Gli oli impiegati nella formulazione dei mangimi di galline ovaiole si dividono in oli vegetali e oli animali: gli oli vegetali – come l'olio di colza, di girasole, di lino, di soia, di palma – sono ricchi di acidi grassi insaturi, specie acido linolenico e acido linoleico, acidi grassi essenziali importanti per la crescita e lo sviluppo delle galline ovaiole, mentre gli oli animali – come l'olio di pesce e l'olio di fegato di merluzzo – vengono estratti dal tessuto adiposo animale e anch'essi aggiunti alla dieta aumentano il contenuto di acidi grassi insaturi delle uova (Gao *et al.*, 2021). Nonostante siano entrambi ricchi di acidi grassi polinsaturi, gli oli vegetali trovano un maggior impiego nella formulazione dei mangimi per galline ovaiole poiché capaci di migliorare la risposta infiammatoria e ridurre il contenuto di grassi epatici, alleviando così la sindrome del fegato grasso. Gli oli animali vengono integrati in misura limitata ($\leq 1,5-2,0\%$) poiché un loro consumo eccessivo ($\sim 8\%$) o una loro scarsa qualità possono aggravare la sindrome del fegato grasso, oltre a ridurre significativamente le prestazioni produttive e alterare le caratteristiche organolettiche delle uova, conferendo sapore, gusto e consistenza sgradevoli – definiti come “di pesce” – portando ad una diminuzione dell'accettazione da parte del consumatore (Gao *et al.*, 2021). Il deterioramento delle proprietà organolettiche nel tuorlo può comunque verificarsi anche nel caso di eccessive integrazioni con olio di semi di lino (5%), data la presenza di fattori antinutrizionali e una maggiore suscettibilità ai processi di irrancidimento ossidativo durante la conservazione (Gao *et al.*, 2021). La qualità e quantità degli oli utilizzati è dunque fondamentale per evitare che le uova assumano un sapore e un odore sgradevole.

L'arricchimento con alimenti ricchi di acidi grassi $n-3$ nella dieta delle galline ovaiole aumenta il contenuto di PUFA $n-3$ nel tuorlo d'uovo, migliorando la percezione del consumatore, in quanto l'assunzione di alimenti contenenti buoni livelli di acidi grassi $n-3$ è associata ad una riduzione del rischio di malattie cardiovascolari, tipicamente legate alla classica dieta “occidentale” (Surai e Sparks, 2001).

D'altra parte, il consumo delle uova è stato spesso associato allo sviluppo di malattie cardiovascolari legate all'effetto negativo del colesterolo poiché, in media, 50 g di uovo contengono 186 mg di colesterolo – di cui 4-5% presenti solo nel tuorlo – (Anton, 2007; Gautron *et al.*, 2022; Vlaicu e Panaite, 2021). L'associazione negativa tra colesterolo e sviluppo di malattie cardiovascolari potrebbe derivare dal fatto che negli studi precedenti non veniva considerata la co-presenza di acidi grassi saturi nelle diete, oltre all'interferenza di altri fattori esterni (CREA, 2017). Tuttavia, negli ultimi anni, il ruolo del colesterolo sulla salute umana è stato rivalutato, stabilendo che i rischi derivanti dalla sua assunzione sono limitati per la maggior parte della popolazione in grado di regolarne l'assunzione con la dieta e che, anzi, il consumo moderato di questo alimento – anche fino a un uovo al giorno – può ridurre il rischio di sindrome metabolica sopra ai 40 anni con un effetto positivo sui livelli di glucosio e trigliceridi ematici (CREA, 2017).

Una strategia per prevenire l'ossidazione lipidica delle uova e prolungarne la durata di conservazione vede l'integrazione alimentare di antiossidanti (naturali o sintetici) alla dieta di base delle galline ovaiole (Vlaicu e Panaite, 2021). Buoni candidati da utilizzare come fonte naturale di PUFA $n-3$ e composti antiossidanti potrebbero essere i sottoprodotti della lavorazione della zucca come la farina di semi di zucca e l'olio di semi di zucca in quanto naturalmente ricchi di antiossidanti naturali come α -tocoferolo e β -carotene, col potenziale di migliorare la salute animale e la qualità delle uova (Valdez-Arjona e Ramirez-Mella, 2019).

Sistemi di allevamento della gallina ovaiole

La filiera agro-zootecnica è da tempo soggetta a grandi cambiamenti in risposta alle mutevoli esigenze sociali. Da tempo, infatti, i consumatori esercitano una forte pressione per il consumo di prodotti animali sani e di alta qualità, la cui produzione tenga conto anche del benessere animale e della sostenibilità ambientale (Gautron *et al.*, 2022). In risposta a questa domanda sociale, il settore delle uova da consumo ha fortemente modificato negli anni i sistemi di allevamento e stabulazione.

L'attuale produzione di uova destinate al consumo in Europa è regolamentata dalla Direttiva 1999/74/CE del Consiglio Europeo, che stabilisce le norme minime per la protezione delle galline ovaiole riportando disposizioni generali applicabili a tutti i sistemi di allevamento delle galline ovaiole. In Europa sono attualmente consentiti quattro metodi di allevamento della gallina ovaiole, vale a dire gabbie arricchite (o modificate), allevamento a terra, all'aperto e biologico. Questi sistemi sostituiscono le gabbie convenzionali, abolite in UE con la Direttiva 1999/74/CE e recepita in Italia dal Decreto Legislativo 267/2003, tuttavia non trovano applicazione per gli stabilimenti al di sotto di 350 galline ovaiole e allevamenti di galline ovaiole riproduttrici. A causa degli spazi limitati e delle ridotte stimolazioni ambientali, le gabbie risultano essere un ambiente innaturale per le galline ovaiole poiché impediscono la possibilità di esprimere il naturale *pattern* etologico. Nonostante il Decreto del 2003 vietasse la messa in funzione di impianti con gabbie convenzionali a partire dal 2003 abolendo definitivamente tali sistemi dal 1° gennaio 2012, i consumatori non ritengono comunque soddisfacenti le condizioni di allevamento associate alle gabbie modificate, in quanto non migliorerebbero sostanzialmente la qualità di vita degli animali allevati. In questo senso, nel 2018 è stata promossa l'Iniziativa dei Cittadini Europei (ICE) “*End of the Cage Age*” per eliminare definitivamente l'uso delle gabbie per gli animali allevati in Europa (non solo avicoli, ma anche scrofe, vitelli e conigli) e promuovere sistemi di allevamento “*cage-free*”. Il Parlamento europeo ha risposto alla presentazione di questa iniziativa con la Risoluzione 2021/2633(RPS) del 10 giugno 2021, nella quale ha chiesto alla Commissione di individuare un percorso che preveda l'abolizione delle gabbie in Europa, proponendo la data del 2027 come inizio di questo *phasing out*.

Secondo la Direttiva 1999/74/CE le uova messe in commercio vengono marchiate sul guscio con una sigla numerica identificativa del metodo di produzione: il codice 3 identifica l'allevamento in gabbie modificate, mentre i codici 2-1-0 vengono impiegati per i diversi sistemi alternativi.

Le gabbie “modificate” o “arricchite” (codice 3) si caratterizzano per un aumento della superficie a disposizione rispetto alle gabbie convenzionali (da 550 cm²/capo a 750 cm²/capo, dei quali 600 cm² di superficie utilizzabile e altri 150 cm² accessori). Questo sistema di allevamento comprende una porzione di lettiera, mangiatoie e abbeveratoi, posatoi sui quali le galline possono appollaiarsi e/o stazionare ad un livello superiore rispetto al pavimento della gabbia, nidi per la deposizione delle uova e dispositivi per l'accorciamento delle unghie, il tutto dimensionato in funzione del numero di capi presenti in modo da creare un ambiente più rispettoso del benessere animale rispetto al tradizionale allevamento in gabbie convenzionali. Sebbene i sistemi con gabbie modificate mantengano i vantaggi gestionali, igienici ed economici delle gabbie convenzionali, essi dimostrano una capacità limitata nel consentire l'espressione del repertorio comportamentale delle galline rispetto ai sistemi alternativi, caratterizzati invece da minori densità di allevamento e maggiori stimoli ambientali che permettono alle galline di esprimere al meglio i tratti tipici del loro naturale comportamento (Windhorst, 2022).

I sistemi a terra (codice 2) impiegano strutture al chiuso come ricoveri o capannoni finestrati per allevare le galline, le quali sono libere di muoversi sulla pavimentazione ricoperta da lettiera permanente rinnovata ad ogni ciclo di allevamento e su strutture ad un piano (posatoio) o a più piani (voliera) dove sono installati abbeveratoi, mangiatoie e nidi. Le galline depongono le uova in nidi individuali o collettivi posti ai lati o al centro del capannone e, grazie alla presenza di un nastro trasportatore, la raccolta delle uova è automatizzata. Rispetto al sistema a terra, l'allevamento all'aperto (codice 1) si caratterizza per la presenza di un'area esterna all'allevamento, cui le galline accedono mediante aperture poste lungo tutta la lunghezza del capannone.

L'allevamento biologico (codice 0) si distingue dagli altri tipi di allevamento in quanto promotore della diversità biologica, allevando razze rustiche e autoctone che vengono alimentate con almeno il 65% di cereali e materie prime provenienti da agricoltura biologica. Come negli allevamenti a terra e all'aperto è presente un ricovero – seppur dalle dimensioni inferiori – dotato di uscioli che permettono alle galline l'accesso all'area di pascolamento esterna.

Di seguito vengono riportate le principali disposizioni applicabili all'allevamento in gabbie modificate e sistemi alternativi secondo la Direttiva 1999/74/CE, mentre per l'allevamento biologico si considera il Regolamento (CE) 1804/99 (Tabella 9).

Tabella 9. Principali disposizioni per l'allevamento in gabbie modificate, a terra, all'aperto e biologico (Direttiva 1999/74/CE; Regolamento (CE) 1840/99)

	Gabbia modificata	A terra	All'aperto	Biologico
Codice	3	2	1	0
Numero capi	nessun limite	nessun limite	nessun limite	3.000/edificio massimo
Spazi interni (densità)	13 galline/m ²	9 galline/m ²	9 galline/m ²	6 galline/m ²
Spazi esterni (densità)	no	no	sì (1 capo/4 m ² minimo)	sì (1 capo/4 m ² minimo)
Pavimentazione ricovero	pendenza massima 14% (8°) per rete metallica rettangolare	ricoperta per almeno 1/3 della superficie calpestabile da lettiera (250 cm ² /capo)	ricoperta per almeno 1/3 della superficie calpestabile da lettiera (250 cm ² /capo)	ricoperta per almeno 1/3 della superficie calpestabile da lettiera (250 cm ² /capo)
Posatoi	15 cm/capo minimo	15 cm/capo minimo	15 cm/capo minimo	18 cm/capo minimo
Nidi	1 nido/gabbia	1 nido/7 galline minimo (singolo); 1 m ² /120 galline minimo (collettivo)	1 nido/7 galline minimo (singolo); 1 m ² /120 galline minimo (collettivo)	1 nido/8 galline minimo
Mangiatoie	fronte minimo 12 cm/capo	100 mm/capo (lineare); 40 mm/capo (circolare)	100 mm/capo (lineare); 40 mm/capo (circolare)	non specificato
Abbeveratoi	2/gabbia minimo (coppetta o tettarella)	2,5 cm/capo (continui); 1/10 capi (coppetta o tettarella)	2,5 cm/capo (continui); 1/10 capi (coppetta o tettarella)	non specificato

Qualunque sia il sistema di allevamento impiegato, la gestione degli animali dovrebbe concentrarsi sul soddisfacimento dei loro requisiti fisiologici durante tutte le fasi vitali, fornendo un ambiente ideale, riducendo al minimo l'esposizione alle malattie, soddisfacendo i bisogni comportamentali e sociali e fornendo acqua pulita e mangime di buona qualità che soddisfi i loro requisiti nutrizionali.

Benessere animale, fattori di rischio e indicatori di benessere nella gallina ovaioia

Esistono molteplici definizioni del "benessere animale" in funzione delle quali, negli ultimi anni, si è sviluppata una crescente preoccupazione tra consumatori e opinione pubblica circa gli effetti che i sistemi produttivi potrebbero avere sul benessere e sulla salute degli animali allevati. Il termine "benessere animale" è usato con significati diversi e le diverse parti interessate hanno percezioni diverse dello stesso (Fisher, 2009). Per i consumatori, prodotti rispettosi degli animali sono anche considerati più sani, più saporiti, più igienici,

più sicuri, accettabili, autentici e rispettosi dell'ambiente. Negli ultimi cinquant'anni, aspetti della capacità dell'animale di adattarsi all'ambiente (Broom, 1986), qualità della vita dell'animale (Sumner, 1996) e stati mentali positivi e negativi (Sandøe, 1996) hanno prodotto una serie di definizioni, che hanno tradizionalmente considerato la necessità di controllare ed evitare le situazioni negative e che puntano oggi a migliorare le esperienze positive degli animali durante l'allevamento.

Le “Cinque Libertà”, inizialmente proposte dal *Brambell Committee* nel 1965 col “*Brambell Report*” e perfezionate nel 1979 dal *Farm Animal Welfare Council* (FAWC), sono state utilizzate a livello internazionale come quadro concettuale per descrivere i principi fondamentali del benessere animale, quali: libertà dalla fame, dalla sete e dalla cattiva nutrizione; libertà dai disagi ambientali; libertà dalle malattie e dalle ferite; libertà di poter manifestare le caratteristiche comportamentali specie-specifiche; libertà dalla paura e dallo stress. Sebbene le Cinque Libertà non prescrivano condizioni specifiche, sono state le prime a considerare congiuntamente le esperienze soggettive, lo stato di salute e il comportamento. Nel 2009, il *Welfare Quality® Project* ha identificato 12 criteri per la valutazione del benessere animale che completano l'approccio delle Cinque Libertà definendo un nuovo termine: “*Welfare Quality*”, ovvero la capacità di un animale di esprimere il proprio comportamento naturale e innato nell'ambiente che lo circonda (WQP, 2009). Col tempo, la valutazione del benessere animale ha subito uno spostamento dell'attenzione dal funzionamento biologico dell'animale alle esperienze dell'animale, con un crescente interesse e ricerca verso l'esperienza di stati di benessere positivi negli animali. Questo cambiamento ha portato alla comprensione che un buon livello di benessere animale non può essere raggiunto senza l'esperienza di stati positivi, come la sensazione di comfort e appagamento. Secondo l'EFSA, il benessere animale è influenzato da diversi fattori quali l'ambiente esterno e le risorse messe a disposizione dell'animale (*resource-based measures*), e le pratiche di gestione dell'allevamento (*management-based measures*) (EFSA, 2012). Questi fattori possono interagire fra loro influenzando le risposte dell'animale che variano per razza, sesso, età, ecc. e le reazioni manifestate in risposta a questi input vengono valutate attraverso *animal based measures* (ABM). Nella terminologia della valutazione del rischio, queste risposte sono le conseguenze dei fattori che agiscono sull'animale e possono essere negative – definite come “effetti negativi” – o positive – definite come “benefici” – (EFSA, 2012).

Poiché il benessere è un concetto multidimensionale e varia nel tempo, si rende necessario l'uso di diverse misure scientifiche per valutarlo (Bracke *et al.*, 1999). In questo senso, le *animal based measures* possono essere rilevate in allevamento oppure in sede di macellazione, durante la valutazione delle carcasse (EFSA, 2012).

Si ritiene che l'esecuzione di comportamenti innati, cioè comportamenti che gli animali sono motivati a mettere in atto, sia una componente fondamentale del funzionamento biologico, necessaria ad evitare lo stress. La necessità di esprimere comportamenti innati, il livello di soddisfazione che questi forniscono e la frustrazione causata dalla loro inibizione possono essere valutati scientificamente misurando l'intensità, la durata e l'incidenza dei comportamenti (Bracke e Hopster, 2006). Nelle galline ovaiole, i comportamenti innati includono il bagno di sabbia, l'appollaiarsi, il foraggiamento e la cova (Hughes e Duncan, 1988).

Per valutare il comportamento e lo stato di benessere delle galline ovaiole vengono utilizzati parametri misurati direttamente sull'animale quali: mortalità, morbilità, salute delle zampe, fratture dello sterno, stato del piumaggio e comportamento del gruppo. La misurazione di questi indicatori consente all'allevatore di monitorare l'efficienza manageriale, individuare problemi e stabilire eventuali nuovi obiettivi di allevamento.

Quando i bisogni o le aspettative comportamentali degli animali non vengono soddisfatti, possono svilupparsi o aumentare comportamenti dannosi, ovvero sia comportamenti indesiderati che si sviluppano in determinate circostanze ad alta frequenza e intensità negli animali e possono causare danni ad altri membri del gruppo. Un esempio per le galline ovaiole, è la beccata grave del piumaggio.

Normalmente, il beccare è considerato un naturale comportamento che gli avicoli mettono in pratica durante la ricerca di cibo e l'esplorazione ambientale. Quando una gallina becca un conspecifico vanno distinte la beccata derivante da motivazioni aggressive da quella che non è associata ad aggressività. Mentre la beccata leggera (o delicata) è la manifestazione di normali comportamenti d'interazioni tra i conspecifici e l'ambiente, la beccata grave delle piume – o *feather peacking* – rappresenta un problema significativo per il benessere nel settore delle ovaiole, la cui presenza è stata documentata in tutti i tipi di sistemi d'allevamento (Bestman *et al.*, 2009; Rodenburg *et al.*, 2013) e consiste nel beccare e strappare le piume di altri animali, portando ad una riduzione del benessere poiché la beccata e la rimozione associata delle piume possono causare eruzioni cutanee o sanguinamento (Herkens *et al.*, 2015) (Figura 9). La ricerca evidenzia come tale comportamento si diffonda velocemente tra gli animali presenti in allevamento e tenda ad aggravarsi con gruppi più consistenti, portando alla prevalenza di una plumofagia anche grave che se protratta può degenerare in cannibalismo e morte dell'animale colpito (Hughes e Gentle, 1995; Rodenburg *et al.*, 2013) (Figura 9). La plumofagia può generare perdite economiche a causa dell'aumento del consumo di cibo da parte delle galline spennate, le quali tentano di stabilizzare il proprio metabolismo a seguito della dispersione di calore corporeo data l'assenza di piumaggio, e dell'aumento della mortalità. Poiché si tratta di un comportamento complesso associato a numerose cause di diversa natura come la paura, l'età, le dimensioni del gruppo e la densità degli animali, la dieta, l'intensità luminosa e la presenza di substrato, è consigliabile l'applicazione di pratiche gestionali ad ampio spettro d'azione mettendo a disposizione un'adeguata nutrizione e una lettiera confortevole, assicurando una ridotta densità di allevamento, l'assenza di cambiamenti drastici nelle condizioni ambientali e riducendo al minimo gli episodi stressogeni e di paura (Rodenburg *et al.*, 2013; Hartcher *et al.*, 2016).

Una pratica che oramai non trova più applicazione poiché vietata in alcuni Paesi europei per la riduzione della beccata severa, è il taglio del becco (o debeccaggio), che prevede il taglio delle punte della mandibola superiore e inferiore del becco. Il debeccaggio può causare dolore acuto o cronico, con formazione di neuromi, la perdita della normale funzionalità del becco e conseguenti cambiamenti nel comportamento (Hughes e Gentle, 1995).



Figura 9. Esempi di danni lievi (a) e gravi (b) alle piume di galline ovaiole oggetto di pica (Kemper e Tetens, 2024)

Un altro problema nell'allevamento delle galline ovaiole è dato dall'assenza di movimento, la quale provoca disturbi metabolici, alti tassi di osteoporosi da disuso e le galline sperimentano una grave frustrazione (Duncan, 2011). La fragilità ossea e la debolezza muscolare sono esacerbate quando le galline non sono in grado di muoversi e di fare sufficiente esercizio, aumentando inevitabilmente il tasso di fratture. Questi effetti sono particolarmente evidenti nel caso di galline allevate in sistemi che fanno uso di gabbie: nonostante consentano una gestione più semplice ed economica, le gabbie non forniscono uno spazio adeguato alle esigenze di movimento delle galline, che sperimentano un'estrema restrizione comportamentale (Lay *et al.*, 2011; Webster, 2004; Widowski *et al.*, 2013). Sistemi di allevamento alternativi consentono maggiori opportunità di locomozione e movimenti di base come il cambio di postura e l'estensione degli arti (Lay *et al.*, 2011; Widowski *et al.*, 2013).

Le galline allevate in sistemi senza gabbie sperimentano una migliore salute muscoloscheletrica dovuta alla possibilità di fare esercizio (camminare, correre, appollaiarsi, sbattere le ali, volare) che riduce l'incidenza dell'osteoporosi. D'altra parte, in questi sistemi di allevamento non è raro il verificarsi di fratture ossee a causa di cadute o lesioni da collisioni su oggetti circostanti durante il volo /o gli spostamenti (Widowski *et al.*, 2013). Una possibile soluzione nei sistemi di allevamento che fanno uso di gabbie vede un loro arricchimento mediante l'aggiunta di dispositivi che consentono l'appollaiamento (posatoi, trespoli, scale) per contribuire al miglioramento della resistenza ossea riducendo così il tasso di fratture totali (Widowski *et al.*, 2013). La presenza di posatoi e trespoli si rivela utile anche nella gestione di stati di frustrazione e irrequietezza quando le galline vengono private dell'opportunità di appollaiarsi di notte (Fraser *et al.*, 2013). Ancora, l'uso dei trespoli può ridurre la paura e l'aggressività, oltre a ridurre la densità delle galline sul pavimento limitando così i rischi di accatastamento e soffocamento (Lay *et al.* 2011). Sebbene vi siano benefici per il benessere nel mettere a disposizione trespoli e posatoi, se mal gestiti il loro utilizzo può rappresentare una fonte di rischio

per il benessere: all'interno dell'ambiente di allevamento, i trespoli possono infatti causare deformità ossee con rischio di fratture se le galline non atterrano correttamente quando saltano o volano tra trespoli o livelli nei sistemi senza gabbie (Lay *et al.*, 2011). Inoltre, i posatoi mal progettati e mantenuti vengono associati al *bumblefoot* a causa di un aumento dello stazionamento sulla lettiera (Lay *et al.*, 2011). I problemi di benessere associati ai trespoli possono essere in parte affrontati con una buona gestione, oltre che posizionamento, tipo e progettazione dei trespoli (Lay *et al.*, 2011), affiancati da programmi di selezione genetica volti a ridurre la sensibilità delle galline all'osteoporosi e alle fratture.

Le galline sono altamente motivate a mettere in atto una serie di comportamenti innati, tra cui appollaiarsi e trovare un sito per nidificare, e quando i vincoli costruttivi dell'allevamento impediscono alle galline di mettere in atto questi comportamenti, queste possono provare frustrazione e disagio emotivo (Fraser *et al.*, 2013). La riduzione di questi stati d'animo negativi è possibile nei sistemi in cui le galline sono in grado di esprimere comportamenti come la nidificazione e il bagno di sabbia (Widowski *et al.*, 2013).

La nidificazione costituisce un comportamento prioritario per il benessere delle galline, le quali preferiscono deporre le uova in un sito tranquillo e preferibilmente poco illuminato (Lay *et al.*, 2011; Widowski *et al.*, 2013). Quando non vi è la possibilità di deporre le uova per assenza del nido, le galline mostrano una considerevole frustrazione attraverso vocalizzazioni specifiche (*gakel*). È dunque fondamentale garantire un adeguato numero di nidi in funzione al numero delle galline presenti e prediligere una ridotta intensità di illuminazione. È stato osservato, inoltre, che un'area di nido più appartata e chiusa può ridurre il cannibalismo cloacale (Lay *et al.*, 2011).

Un altro comportamento innato è il bagno di polvere o di sabbia (*dust bathing*) che vede l'integrazione a livello del piumaggio da parte della gallina con materiale presente sulla lettiera in modo da pulire le piume e rimuovere i parassiti della pelle, regolare la quantità di lipidi delle piume e mantenere il piumaggio in buone condizioni (Lay *et al.*, 2011). Le galline esprimono una forte motivazione ad accedere ai substrati in cui effettuare il bagno di sabbia e mostrano stress quando non vi possono accedere. Il *dust bathing* trova una maggior espressione nei sistemi di allevamento alternativi nei quali la fornitura di materiali friabili come sabbia, cenere o torba impiegati per effettuare questo comportamento viene periodicamente monitorata in modo da garantire una manutenzione regolare della lettiera che d'altra parte, se gestita in modo scorretto, può diventare troppo umida causando dermatiti da contatto (Widowski *et al.*, 2013).

Una corretta gestione e disposizione del materiale di substrato della lettiera è fondamentale per consentire alle galline di razzolare e beccare, dove l'esplorazione ambientale per la ricerca del cibo è un punto fondamentale del normale repertorio comportamentale delle galline ovaiole. Nei sistemi con gabbie modificate, l'esplorazione ambientale, la ricerca di cibo e la locomozione vengono limitati per l'insufficienza di spazio disponibile e/o il rapido esaurimento del substrato. Come per il bagno di sabbia, l'accesso alla lettiera di buona qualità è fondamentale per il benessere delle galline, al fine di mantenere buone condizioni del piumaggio,

migliorare la sensazione di soddisfazione e ridurre comportamenti avversi come la pica (Rodenburg *et al.*, 2013).

L'accesso a un'area esterna può essere collegato a benefici per la salute nelle galline ovaiole poiché migliora le opportunità di espressione comportamentale, tra cui foraggiamento, esercizio ed esplorazione. Inoltre, se l'area è facilmente accessibile e offre zone riparate, permette di ridurre la densità di allevamento all'interno dell'allevamento, portando ad un aumento della locomozione e dell'esercizio.

Di seguito vengono riassunti i principali indicatori di benessere che trovano impiego nell'allevamento delle galline ovaiole (Tabella 10).

Tabella 10. Misurazione degli indicatori di benessere nella gallina ovaiole con distinzione tra i comportamenti positivi e negativi (CIWF – Settore alimentare, 2024)

Comportamenti positivi	Comportamenti negativi
Espressione di un comportamento esplorativo (becchettare, razzolare)	Aggressività: le ovaiole si rincorrono e lottano
Uso dei posatoi e degli arricchimenti ambientali	Beccaggio aggressivo diretto a capo e/o collo
Interazioni sociali positive (becchettare e sfruttare i posatoi in gruppo)	Pica aggressiva diretta alle piume, alla cloaca o a lesioni esistenti
Bagni di polvere ed esposizione al sole	Paura
Confidenza nei confronti dell'uomo	
Sfruttamento dello spazio all'aperto	

Arricchimenti ambientali ed alimentari in allevamento: finalità e tipologie

Col termine “arricchimento”, secondo la definizione di Newberry (1995), ci si riferisce a “*miglioramento del funzionamento biologico degli animali allevati derivante da modifiche al loro ambiente*”. Questa definizione mette in evidenza l'importante distinzione tra arricchimento ambientale – che ha un impatto dimostrabile sugli animali – rispetto al cambiamento ambientale – modifiche che non portano a miglioramenti quantificabili – (Newberry, 1995). Gli arricchimenti vengono concepiti al fine di aumentare le manifestazioni del comportamento naturale, riducendo l'incidenza di comportamenti anomali, dannosi e degli stati emotivi negativi, migliorando la salute fisica e l'uso delle risorse ambientali fornite (Newberry, 1995). Per rendere interessante il loro utilizzo, gli arricchimenti dovrebbero essere economici e pratici; inoltre, non dovrebbero provocare effetti dannosi o lesivi sugli animali, come la riduzione del consumo di mangimi, l'aumento dei tassi di lesioni (Campbell *et al.*, 2009). Una loro corretta gestione prevede che vengano forniti in quantità proporzionale alle dimensioni del gruppo e che possano essere puliti per mantenere buoni livelli di biosicurezza ambientale.

L'introduzione in allevamento di materiali e oggetti di diversa natura generalmente richiede un periodo iniziale di adattamento prima che possano verificarsi effetti ed interazioni positivi (Campbell *et al.*, 2019). Per facilitare un loro riconoscimento ed accettazione, una strategia utile potrebbe vedere il posizionamento degli oggetti in punti strategici e in prossimità degli animali, con l'uso di diversi colori e immagini, possibilmente in

movimento, in quanto maggiormente stimolanti e preferiti ad immagini statiche (Campbell *et al.*, 2019). Esporre le galline a nuovi oggetti potrebbe essere, inoltre, un'opzione pratica e semplice per abituare gli animali a cambiamenti nelle pratiche di gestione e/o nell'ambiente (Campbell *et al.*, 2019).

Alcuni tipi di arricchimento nell'allevamento delle galline ovaiole possono essere considerati una necessità di base, come la presenza di lettiera per il foraggiamento, trespoli su cui appollaiarsi e nidi per deporre le uova. Gli elementi impiegati per soddisfare l'esigenza a becchettare delle galline devono essere efficaci nello stimolare il foraggiamento e ridurre il *feather pecking*, oltre ad essere economici. Dispositivi semplici e facilmente reperibili come reti, scatole, dischi, spaghi e fonti alimentari manipolabili, possono essere adatti a questo scopo e alleviare stati emotivi negativi (Campbell *et al.*, 2019). Anche la lettiera contribuisce a favorire un corretto foraggiamento, ecco perché la fornitura costante e appropriata di materiale manipolabile può aiutare a sviluppare questo comportamento.

Gli arricchimenti possono essere particolarmente utili dove non sia possibile per gli animali accedere all'esterno dell'allevamento, come nel caso degli allevamenti in gabbia. Avendo accesso ad un'area all'aperto, le galline possono scegliere tra aree interne ed esterne, rendendo l'ambiente più variabile rispetto a un allevamento solo al chiuso (Campbell *et al.*, 2019). In ambienti con ridotta possibilità di movimento – come nel caso dei sistemi di allevamento in gabbie modificate – i trespoli potrebbero essere un'utile aggiunta (Campbell *et al.*, 2019). È stato dimostrato che i trespoli possono offrire benefici alle pollastre favorendo una maggiore resistenza ossea, e possono proteggere da lesioni nelle fasi successive dell'allevamento delle galline ovaiole (Campbell *et al.*, 2019). Inoltre, gli arricchimenti ambientali possono aiutare a ridurre lo stress cronico mettendo a disposizione una serie di risorse favorite dalle galline, come materiale di foraggiamento, lettiera e trespoli, oltre ad avere effetti positivi nella gestione della paura (Campbell *et al.*, 2019).

Data la naturale tendenza delle galline ad esplorare e becchettare, per la facilità di somministrazione, gli arricchimenti possono essere anche di tipo alimentare.

È stato rilevato che l'alimentazione con foraggio sembra avere un effetto positivo sul comportamento delle galline e il materiale di foraggiamento disponibile motiva gli animali a trascorrere più tempo a foraggiare e meno a beccare le piume, riducendo quindi l'insorgenza della plumofagia (Nørgaard-Nielsen *et al.*, 1993).

Steenfeldt *et al.* (2007) hanno condotto uno studio per valutare l'idoneità dell'uso di insilato di mais, insilato di orzo e piselli e carote (come radici pulite, non cotte) come materiali di foraggiamento per le galline ovaiole dalle 20 alle 54 settimane d'età, rilevando come l'accesso a tutti e tre i tipi di integrazione abbia ridotto le beccate verso le piume e la zona cloacale e quelle gravi, risultando in un miglioramento della qualità del piumaggio a 54 settimane d'età. Questi arricchimenti alimentari hanno inoltre ridotto drasticamente la mortalità nei gruppi a cui è stato somministrato materiale di foraggiamento. Infine, le galline alimentate con carote hanno riportato un peso corporeo finale maggiore rispetto agli altri gruppi, mentre la produzione di uova è aumentata con tutti e tre i tipi di arricchimento alimentare (Steenfeldt *et al.*, 2007).

Non solo il tipo di alimento che viene aggiunto alla dieta, ma anche le forme e dimensioni con cui esso viene somministrato possono influenzare il *feather peacking*. Aerni *et al.* (2000) hanno rilevato tempi di alimentazione inferiori nelle galline alimentate con pellet rispetto a quelle alimentate con pastone (arricchimento alimentare), comportamento giustificabile col fatto che le galline che non ricevevano l'arricchimento alimentare dedicavano più tempo a beccarsi facendo registrare tassi elevati di pica delle piume e danni pronunciati; viceversa, le galline alimentate col pastone hanno avuto un periodo di alimentazione più lungo e un tasso più elevato di beccate nel cibo (Aerni *et al.*, 2000).

OBIETTIVI

L'aumento della popolazione mondiale porta ad una sempre maggiore domanda alimentare soprattutto di prodotti di origine animale (latte, carne e uova). Negli anni, la competizione tra risorse alimentari destinate al consumo umano ed animale si è fatta sempre più accesa. In questo contesto, per ridurre la pressione che grava sulle risorse naturali, diventa necessario ridurre le perdite e gli sprechi di cibo lungo la filiera alimentare, creando delle integrazioni alimentari per gli animali di interesse zootecnico a partire da rifiuti alimentari in un'ottica di economia circolare. A tal proposito, la zucca è un alimento dal ricco profilo nutrizionale che si contraddistingue per la varietà di utilizzi. Nell'alimentazione animale, dato l'elevato contenuto di composti bioattivi e nutrienti, viene comunemente integrata come sottoprodotto della lavorazione sottoforma di panelli, olio e farina di semi.

Di pari passo agli sviluppi dell'economia circolare, i cittadini si dimostrano sempre più interessati al benessere degli animali allevati, attitudine che negli anni ha favorito la diffusione di sistemi di allevamento alternativi alle gabbie, atti a garantire il benessere animale e che diano la possibilità di estrinsecare al meglio il proprio repertorio comportamentale specie-specifico. Tali sistemi – anche noti come sistemi “*cage-free*” – richiedono un'accurata progettazione e gestione poiché non sono esenti da possibili problematiche derivanti da aggressioni tra animali o dall'uso improprio delle strutture da parte degli stessi animali. In questo senso, gli arricchimenti ambientali e alimentari possono intervenire nelle condizioni degli animali, favorendo una maggiore manifestazione di comportamenti specie-specifici e riducendo possibili comportamenti aggressivi.

Fatta questa premessa, la presente tesi sperimentale si è posta l'obiettivo di valutare i possibili effetti dell'integrazione alimentare con un sottoprodotto dell'industria alimentare a base di zucca disidratata, integrato all'8% del consumo giornaliero di alimento, sul comportamento di galline ovaiole allevate in un sistema *cage-free* e sulla produzione e qualità delle uova deposte.

MATERIALI E METODI

Strutture di stabulazione

La ricerca è stata realizzata a seguito dell'approvazione da parte dell'Organismo per la Protezione del Benessere Animale (OPBA) dell'Università di Padova (progetto 28/2020; Prot. n. 204398). Gli animali sono stati gestiti nel rispetto dei principi contenuti nella Direttiva EU 2010/63/EU relativa alla protezione degli animali allevati a fini scientifici e sperimentali. Gli animali sono stati seguiti da personale formato, tra cui studenti e dottorandi, al fine di garantire loro il massimo benessere.

La prova ha avuto luogo all'interno dell'Azienda Agraria Sperimentale "Lucio Toniolo" dell'Università di Padova presso la struttura dedicata all'allevamento delle galline ovaiole (Figura 10) dotata di una voliera a tre livelli, suddivisa in 8 moduli (2,50 m x 2,44 m x 2,83 m) ciascuno in grado contenere 225 galline, per una densità di 9 animali/m².



Figura 10. Stalla delle galline ovaiole nell'azienda agraria sperimentale "L. Toniolo"

All'interno della stalla, la temperatura è stata mantenuta tra i 18 e i 25°C tramite finestre invernali ad apertura automatizzata, per favorire il ricircolo dell'aria, ventilatori ad estrazione ed un *cooling system* per il raffrescamento. Il sistema di illuminazione era artificiale.

All'interno di ogni modulo erano presenti 4 nidi collettivi ciascuno dotato di una tendina di plastica. Dai nidi, le uova, sfruttando la pendenza, confluivano verso il nastro per la raccolta ed erano quindi convogliate alla testata della struttura per la raccolta manuale. Sul nastro uova erano riportati i numeri corrispondenti ai nidi di deposizione delle uova.

Tra i vari piani era presente un nastro per la rimozione e l'allontanamento delle deiezioni, mentre per la rimozione della pollina deposta a terra, al di sotto del primo piano dell'aviario, era presente un raschiatore. Il piano di accensione e spegnimento delle luci, l'alimentazione e la distribuzione dell'acqua, l'apertura e la chiusura dei nidi, l'azionamento dei raschietti e del nastro per la raccolta delle uova sono stati controllati da una centralina di automazione.

L'alimentazione era possibile grazie a due file di mangiatoie lineari a catena collocate sul primo e sul terzo piano dell'aviario. La distribuzione dell'acqua avveniva grazie ad abbeveratoi a goccia distribuiti su un'unica fila e presenti sul primo e secondo piano dell'aviario. Tutti i moduli erano dotati di posatoi (Figura 11) che

permettevano agli animali di spostarsi più agevolmente da un piano all'altro. In metà dei moduli, erano presenti due rampe in rete metallica tra il piano del pavimento a terra e il primo piano di rete (121 cm x 21,5 cm, 10 cm x 21,5 cm pianerottolo e pendenza 34°/68%) e tra il secondo e il terzo piano dell'aviario (135 cm x 21,5 cm, 10 cm x 21,5 cm pianerottolo e pendenza 35°/69%).



Figura 11. Vista dei piani dell'aviario con posatoi

La possibilità di monitoraggio da remoto in tempo reale era garantita dalla presenza di 48 telecamere Infrared mini-dome 4 mp con obiettivo fisso da 36 mm, risoluzione 1080 p, grado di protezione IP67 (HAC-HDW1220MP; Zhejiang Dahua Technology Co., Ltd.; Hangzhou, Cina, con associati 2 videoregistratori HD (NVR2116HS-4KS2, Zhejiang Dahua Technology Co., Ltd., Hangzhou, China). Le telecamere erano collocate su un solo lato dell'aviario, in modo da consentire la visione degli animali presenti a terra, nei nidi, sui piani inferiore e superiore, inoltre era possibile la realizzazione di videoregistrazioni.

Animali e disegno sperimentale

Le 1800 ovaiole allevate presso lo stabulario dell'azienda universitaria erano state accasate a 114 giorni di età (17 settimane). Metà erano di razza Novogen Brown e l'altra metà Novogen White (NOVOGEN S.A.S, Rue des Compagnons, Secteur du Vau Ballier, 22960, PLEDRAN, France). Per la presente prova sperimentale sono state utilizzate solo le galline Novogen White.

La prova oggetto della presente tesi ha avuto una durata complessiva di tre settimane, a partire da 216 giorni di età (31 settimane) fino a 232 giorni di età (33 settimane).

Le galline per l'intera durata della prova sono state alimentate con una dieta commerciale a base di farina di mais e soia, idonea a soddisfare i loro fabbisogni nutrizionali. La dieta conteneva poco meno del 34% di mais, 20% di soia e il 18% di frumento tenero; tra gli altri ingredienti erano presenti anche carbonato di calcio, semi di soia tostati, farinaccio ed olio di soia (Tabella 11).

Tabella 11. Formula del mangime somministrato alle galline ovaiole durante la prova (da 31 a 33 settimane di età)

Ingredienti	Quantità
Mais. %	33,84
Soia proteica 48%. %	19,95
Frumento tenero. %	18,00
Calcio carbonato. %	9,48
Seme di soia tostato. %	4,90
Semola glutinata di mais. %	3,60
Farinaccio. %	3,10
Olio di soia. %	2,29
Girasole f.e.. 28%, %	0,95
Crusca di avena. %	1,30
Fosfato monocalcico. %	0,90
Integratore vitaminico minerale. %	0,50
Sodio cloruro. %	0,32
Zeolite-chabasite. %	0,31
Alimet Novus. %	0,17
Sodio bicarbonato. %	0,14
Colina liquida. 70%, %	0,05
Lisina cloridrato. %	0,12
Pixafill rosso puro (5 g). %	0,04
Addiyell giallo (20 g/kg). %	0,03
Treonina. %	0,02

Sono stati organizzati due gruppi con due unità sperimentali (recinti) pre gruppo e due trattamenti alimentari (con e senza arricchimento alimentare con zucca disidratata all'8% del consumo volontario giornaliero).

Nei due moduli dell'aviario interessati dal trattamento, la somministrazione della zucca disidratata avveniva ogni giorno intorno alle ore 10 da entrambi i lati dell'aviario, in mangiatoie circolari poste a terra (Figura 12). La quantità distribuita era pari a 1 kg per lato, per un totale di 2 kg per modulo, pari a circa l'8% dell'ingestione alimentare giornaliera volontaria dello stesso gruppo di animali.



Figura 12. Galline che consumano la zucca immediatamente dopo la somministrazione

Gli scarti della zucca sono stati ottenuti da un'azienda di trasformazione di prodotti orticoli appartenenti alla quarta gamma in Lombardia (Bresano), e, una volta sottoposti ad essiccazione, sono stati consegnati dall'Università di Milano (Lodi) all'Azienda Agraria Sperimentale "L. Toniolo". Gli scarti della zucca appartenevano a diverse varietà di zucca (Zucca Delica, Zucca Violino, Zucca Moscata, Zucca Mantovana, Zucca Marina (Chioggiana)).

La zucca disidratata è stata ottenuta attraverso un processo di essiccazione della durata di circa due ore e con temperatura impostata a $RH > 40\%$ [138°C] e umidità per lo scarico impostata [$12\% RH$] (Figura 13). Gli scarti di zucca fresca sono stati inseriti nella tramoggia d'ingresso dell'essiccatore e quindi sono stati sminuzzati da una coclea dotata di smerigliatrice integrata presente nella porzione inferiore dell'essiccatore. Nella camera di essiccazione, il prodotto sminuzzato è stato dapprima fluidificato e successivamente sono stati fatti circolare una miscela di aria e vapore surriscaldato per estrarre l'umidità del prodotto. La miscela di aria satura e vapore creatasi è stata fatta circolare attraverso un filtro in una camera sopra quella di essiccazione, dove temperatura e umidità relativa sono state costantemente misurate. In un condensatore successivo, gran parte dell'umidità è stata rilasciata sotto forma di condensa, mentre l'aria e l'umidità rimanente sono state fatte circolare da un ventilatore attraverso un riscaldatore elettrico per produrre mezzi di essiccazione che entrano nella camera di essiccazione. Al termine di un ciclo di essiccazione (con i parametri impostati nel test di essiccazione), il livello di umidità all'interno della camera di essiccazione è stato ridotto al livello preimpostato di umidità relativa nella miscela aria/vapore in uscita dalla camera di essiccazione, indicando che l'essiccazione del prodotto è stata raggiunta. Al termine del ciclo di essiccazione, circa $\frac{3}{4}$ del prodotto essiccato è stato scaricato in un contenitore o in un sacco di ricezione. Il prodotto rimanente all'interno della camera di essiccazione costituisce la base di partenza per la fluidificazione nel successivo ciclo di essiccazione.



Figura 13. Zucca disidratata

Rilievi sperimentali

Animal based measures

All'inizio e alla fine della prova è stato misurato il peso vivo degli animali. Le misurazioni sono state realizzate su un campione casuale, composto dal 25% dei capi per ogni modulo, corrispondente a 50 animali. In tale occasione, gli animali venivano anche valutati al fine di individuare l'eventuale presenza di lesioni sternali o delle zampe e veniva inoltre valutata la condizione del piumaggio, sia in termini di grado di copertura che di sporcizia, focalizzandosi in su tre zone corporee ovvero collo-testa, dorso e cloaca (punteggio 1: danno moderato con una area inferiore ai 5 cm di diametro senza piume) (Van Niekerk *et al.*, 2012).

Le lesioni sternali sono state individuate sia tramite palpazione che osservazione visiva, per valutare l'eventuale deviazione dell'osso dello sterno rispetto alla sua condizione normale. Il punteggio veniva assegnato secondo il *Welfare Quality Assessment Protocol for Poultry* (2009) basandosi sul punteggio pari a 1, ovvero la presenza di deviazioni (appiattimento, forma a S, flessione) o sezioni ispessite in forma molto lieve. Per la valutazione delle lesioni podali sono state prese in considerazione entrambe le zampe, assegnando il punteggio in base a quella che si presentava in condizioni peggiori. Anche in questo caso veniva considerato il punteggio pari a 1, cioè zampe in presenza di poche lesioni riconducibili a ipercheratori o piccole ferite (Van Niekerk *et al.*, 2012).

Rilievi comportamentali

I dati relativi ai comportamenti delle ovaiole sono stati analizzati attraverso la visione delle registrazioni realizzate dal lato A dell'aviaro, grazie alle telecamere che inquadravano l'area di lettiera a terra, al centro della quale erano poste le mangiatoie, dove veniva somministrata la zucca (Figura 14).

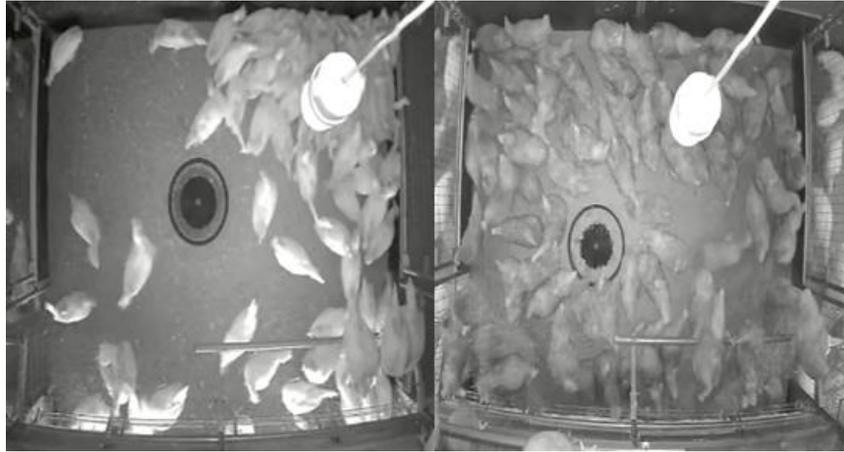


Figura 14. Vista dell'area di lettiera a terra, al centro della quale è presente la mangiatoia

Sono state analizzate in totale cinque giornate nel corso delle tre settimane prese in considerazione (corrispondenti al 22, 26 e 29 gennaio 2024 e 2 e 5 febbraio 2024), realizzando scansioni di 10 secondi ogni 30 minuti, dalle ore 4.30 del mattino alle 19.30 (dalle 04:00 alle 20:30 di ogni ora) (Trocino *et al.*, 2020; Thuy Diep *et al.*, 2018). È stato conteggiato il numero totale degli animali presenti a terra e poi guardando più nel dettaglio, in quale dei comportamenti tra quelli riportati nella tabella sottostante fossero impegnate (Tabella 12).

Tabella 12. Etogramma utilizzato (modificato da Baxter *et al.*, 2018)

Comportamento	Descrizione
<i>Dustbathing</i> (bagno di sabbia)	La gallina inserisce la sabbia o altri materiali nel piumaggio accovacciandosi a terra e facendo dei movimenti appositi con il corpo, le ali e le zampe
<i>Pecking feeder</i> (beccare la mangiatoia)	La gallina becca la mangiatoia
<i>Ground pecking</i> (beccare a terra)	L'animale becca la lettiera
<i>Inactive</i> (inattivo)	L'animale non compie nessuna attività
<i>Locomotion</i> (movimento)	L'animale è in piedi, cammina o corre senza beccare il terreno
<i>Preening</i> (pulizia del piumaggio)	La gallina rivolge il becco verso il proprio piumaggio in diverse parti del corpo (torace, addome, ali interne ed esterne, dorso e cloaca) e compie movimenti di beccata, rosicchiamento e pulizia, una o più volte
<i>Piling</i>	Tre o più galline, perlopiù immobili (durata massima del movimento < 5 secondi) in piedi il più vicino possibile (corpi sovrapposti) con la maggior parte delle galline rivolte nella stessa direzione
<i>Missing</i> (non rilevabile)	Quando è impossibile registrare lo stato della gallina perché entra ed esce dalla visuale
<i>Aggressions</i> (aggressioni)	Manifestazioni di comportamenti aggressivi

Analisi fisiche e reologiche delle uova

Dopo 3 settimane di somministrazione della zucca, si è proceduto al campionamento di 240 uova, 60 per modulo, metà provenienti da galline che avevano consumato la zucca (moduli 5 e 7) mentre l'altra metà (moduli 1 e 3) no.

In sintesi, le uova sono state utilizzate per le seguenti analisi, come sotto meglio dettagliato: valutazione dell'aspetto esterno al fine di individuare eventuali difetti quali gusci ruvidi o con crepe (Simons *et al.*, 2017); peso, diametro, altezza e spessore del guscio per il calcolo delle percentuali di ripartizione; presenza di macchie di carne e di sangue sul tuorlo; pH e colore di tuorlo ed albume; percentuale di uova con fratture; resistenza del guscio. Successivamente le uova sono state analizzate per composizione chimica e profilo in acidi grassi.

Prima di procedere con l'analisi delle uova, 120 di esse, ovvero 30 per modulo (Figura 16), sono state contrassegnate con due numeri (da 1 a 30 e 1-3-5-7 per poter identificare il modulo di appartenenza) (Figura 15). Successivamente si è provveduto a pesare ciascuna di esse e a rilevarne altezza e diametro all'equatore con l'ausilio di un calibro digitale (IP54, SHAHE Digital Caliper, Wenzhou, Zhejiang, China) (Figura 15).



Figura 15. Uova siglate con numero del modulo di appartenenza e numero progressivo da 1 a 30 per facilitarne l'identificazione (sinistra); pesata di un singolo uovo intero (destra)

Dopo queste prime operazioni, le uova sono state sgusciate, ponendo tuorlo, albume e guscio in tre contenitori separati, ognuno dei quali recante i numeri identificativi dell'uovo (Figura 16). I gusci, dopo essere stati puliti manualmente da eventuali residui di albume, sono stati posti in stufa a 50°C per 24 ore, fino ad essiccazione completa. Dopo l'essiccazione è stato misurato lo spessore del guscio (con la membrana) in tre differenti punti (in prossimità della camera d'aria, dell'estremità più appuntita e dell'equatore) usando un calibro digitale (IP54, SHAHE Digital Caliper). Il peso del tuorlo è stato misurato, mentre quello dell'albume è stato calcolato per differenza tra i pesi di uovo intero, tuorlo e guscio essiccato. Tramite un'analisi visiva è stata inoltre valutata e registrata l'eventuale presenza di macchie di sangue e carne sia nel tuorlo che nell'albume. Il colore del tuorlo è stato determinato con il sistema CIE L* a* b* usando un colorimetro Minolta Chroma Meter CM-508 (Minolta Corp) (Figura 17). Il pH di tuorlo ed albume è stato determinato usando un pH-metro (Basic 20,

Crison Instruments SpA, Carpi, Modena, Italy), corredato con uno specifico elettrodo (cat. 5232, Crison Instruments SpA) (Figura 17).



Figura 16. Vaschette contenenti gusci (sinistra) e tuorli ed albumi (destra)



Figura 17. Misurazione del colore del tuorlo tramite colorimetro (sinistra); misurazione del pH di tuorlo ed albume tramite pH-metro (destra)

Per la realizzazione delle analisi chimiche, 5 uova per ogni recinto sono state utilizzate per costituire 5 pool per modulo con 2 tuorli ciascuno e 5 pool composti da 2 albumi (10 pool per gruppo sperimentale) (Figura 18) e successivamente liofilizzati per essere sottoposti ad analisi chimiche.

Il test di rottura del guscio è stato eseguito su 30 uova (15 provenienti da animali che avevano ricevuto l'arricchimento alimentare con la zucca disidratata e le rimanenti 15 dalle galline senza arricchimento alimentare) (Figura 18) utilizzando un analizzatore di texture (TA.XTplusC, Stable Micro System Ltd., Godalming, UK), dotato di una sonda cilindrica di 30 mm di diametro alla velocità trasversale costante di 1 mm/sec, una cella di carico da 250 N. Le uova sono state posizionate sulla piattaforma ed il guscio è stato perforato in corrispondenza del polo superiore e di quello inferiore. Registrando la forza necessaria per penetrare il guscio è stata calcolata la sua resistenza.



Figura 18. Schema di campionamento ed analisi uova

Analisi chimiche di mangime, zucca e uova

Le analisi sono state effettuate presso il laboratorio La.Chi del Dipartimento di Agronomia, Alimentazione, Risorse Naturali, Animali e Ambiente (DAFNAE) dell'Università di Padova.

La dieta commerciale e la zucca disidratata e i pool di tuorli e albumi sono stati analizzati al fine di valutare il contenuto di sostanza secca (950.46), ceneri (920.153), proteina grezza (981.10), estratto etereo (2003.05) (non per gli albumi) e fibra grezza (987.10) (solo per i mangimi) secondo il metodo AOAC (2016).

Per la determinazione del profilo dei grassi e degli acidi grassi (FA) del tuorlo, il grasso è stato estratto dai tuorli liofilizzati mediante estrazione accelerata con solvente (ASE, Dionex, Sunnyvale, CA, USA, Application Note 334) utilizzando tre cicli di estrazione con cloroformio: metanolo (2:1 v/v) come solvente a 80°C e una fase di riscaldamento di 1 minuto e una fase di estrazione di 40 secondi (modificato da Folch *et al.*, 1957). Il trattamento dei campioni e la determinazione degli acidi grassi sono stati quindi effettuati secondo quanto descritto da Bošković Cabrol *et al.* (2024) mediante GC-FID con un gascromatografo Agilent 7820A (Agilent Technologies, Santa Clara, CA, USA). È stato utilizzato una colonna Supelco OMEGAWAX-TM 250 (Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA) (30 m × 0,25 mm di diametro interno, spessore della pellicola 0,25 µm) con idrogeno come vettore. I singoli acidi grassi sono stati identificati confrontando il tempo di ritenzione della miscela standard di esteri metilici di acidi grassi (Supelco 37-component FAME Mix, 47,885-U). I singoli esteri metilici di FA sono stati espressi come percentuale dell'area totale degli esteri metilici di FA eluiti.

Il contenuto minerale della dieta commerciale, della zucca e dei tuorli ed albumi liofilizzati è stato determinato sui campioni preparati come descritto da Bošković Cabrol *et al.* (2024) mediante spettrometria ad emissione ottica al plasma accoppiata induttivamente (ICP-OES) (Spectro Arcos EOP, Spectro Analytical Instruments GmbH, Kleve, Germania). Gli standard di calibrazione sono stati preparati utilizzando soluzione standard multi e singolo elemento (Inorganic Ventures Inc., Christiansburg, VA, USA) in acido nitrico Suprapur al 30% (Merck Chemicals GmbH) per ottenere matrici simili ai campioni.

Analisi statistica

Il numero di animali presenti a terra e i dati relativi al numero di animali impegnati nei diversi comportamenti ricavati dalle osservazioni dirette e dalle video-registrazioni sono stati analizzati con ANOVA considerando come effetti principali il trattamento (con integrazione di zucca disidratata, senza integrazione), l'età degli animali (dalla settimana 31 alla 33), le interazioni e l'ora di osservazione (per i dati video registrati), utilizzando la procedura GLIMMIX del SAS (SAS, 2003).

I dati relativi ai caratteri qualitativi fisici delle uova sono stati sottoposti ad analisi della varianza tramite ANOVA con la dieta come fattore principale di variabilità e il recinto come effetto casuale, utilizzando la procedura PROC MIXED di SAS (2013).

I dati relativi alla composizione chimica tipo, al contenuto di minerali nel tuorlo e nell'albume e al profilo degli acidi grassi dei lipidi del tuorlo sono stati sottoposti ad ANOVA utilizzando la procedura PROC GLM (SAS Institute Citation 2013) con il trattamento come effetto principale. Le differenze tra le medie con $P \leq 0,05$ sono state considerate statisticamente significative. L'effetto degli stessi fattori sperimentali di cui sopra sulla frequenza di rottura del guscio, macchie di sangue e macchie di carne è stato valutato utilizzando il test del chi-quadrato (χ^2) e la corrispondente procedura in SAS (2013).

RISULTATI E DISCUSSIONE

La Tabella 13 riporta la composizione chimica della dieta e della zucca disidratata utilizzata per l'integrazione alimentare.

La dieta ha presentato un contenuto del 18,1% di proteina grezza e un contenuto di amido pari al 21,0%, per un contenuto di fibra grezza inferiore del 2,62% e un contenuto del 6,96% di estratto etereo. Il prodotto di zucca utilizzato per l'integrazione alimentare presentava il 12,8% di proteina grezza, il 9,8% di fibra grezza, il 7,3% di estratto etereo, con alcune variazioni rispetto ai valori riportati da Kim *et al.* (2012), dove le condizioni di crescita, la specie considerata e i metodi di impiego della zucca possono modificare le caratteristiche del prodotto.

Tabella 13. Composizione chimica (%) della dieta e della zucca disidratata utilizzata per l'alimentazione e l'integrazione alimentare in galline ovaiole

Composizione chimica (%)	Dieta	Zucca disidratata
Sostanza secca (%)	90,0	85,7
Proteina grezza (%)	18,1	12,8
Estratto etereo (%)	6,96	7,13
Fibra grezza (%)	2,62	9,84
Amido (%)	21,0	0,00
Ceneri (%)	16,9	6,49

Il profilo acidico del grasso della dieta e di quello della zucca disidratata non sono risultati diversi. Il contenuto dei principali acidi grassi saturi (SFA) è risultato simile con alcune eccezioni. L'acido palmitico (C16:0) e l'acido stearico (C18:0) sono risultati maggiormente presenti nella zucca disidratata rispetto alla dieta, 16,4% e il 5,97% degli acidi grassi totali contro l'11,9% e il 3,61%, rispettivamente (Tabella 14). Al contrario, la proporzione di acido oleico (C18:1n9) è risultata superiore nel grasso della dieta rispetto a quello della zucca (21,8% vs 18,0%) così come quella di acido vaccenico (C18:1n7) (1,21% vs 0,79%) (Tabella 14). La proporzione di acido α -linoleico (C18:3n3) è anch'essa risultata moderata (6,43% nella dieta e 2,20% nella zucca disidratata), mentre l'acido linoleico (C18:2n6) è stato l'acido grasso più abbondante in entrambi i prodotti, con un valore superiore al 50% degli acidi grassi totali (52,9% nella dieta e 54,4% nella zucca disidratata) (Tabella 14).

Nel complesso, la proporzione di acidi grassi saturi totali (SFA) è risultata maggiore nella zucca disidratata, mentre una tendenza opposta è stata misurata per gli acidi grassi monoinsaturi totali (MUFA). La percentuale di acidi grassi polinsaturi totali (PUFA) non è risultata diversa fra la dieta e la zucca, anche se il rapporto PUFA $n-6$ / PUFA $n-3$ è risultato tre volte maggiore nella zucca disidratata (24,1% vs 8,12%), a causa della percentuale tre volte inferiore di PUFA $n-3$ nella zucca disidratata rispetto alla dieta (2,26% vs 6,53%), a parità di PUFA $n-6$ (Tabella 14). Il rapporto fra acidi grassi saturi/acidi grassi insaturi (SFA/MPUFA) nella zucca disidratata è risultato in linea con quanto riportato da Kim *et al.* (2012) che ha riportato come gli acidi grassi insaturi rappresentano la quota preponderante degli acidi grassi totali (~65-80%).

Tabella 14. Profilo degli acidi grassi (% acidi grassi totali) della dieta e della zucca disidratata

Acidi grassi (%)	Dieta	Zucca disidratata
C14:0	0,16	0,26
C16:0	11,9	16,4
C18:0	3,61	5,97
Altri SFA	1,16	1,15
C16:1n7	0,21	0,42
C18:1n9	21,8	18,0
C18:1n7	1,21	0,79
Altri MUFA	0,40	0,27
C18:3n3	6,43	2,20
C18:2n6	52,9	54,4
Altri PUFA	0,07	0,18
SFA totali	16,8	23,9
MUFA totali	23,6	19,5
PUFA totali	59,5	60,0
PUFA n-3	6,53	2,26
PUFA n-6	53,0	54,4
PUFA n-6/ PUFA n-3	8,12	24,1

Rilievi sugli animali

Alla fine del periodo sperimentale, il peso vivo delle galline sottoposte o meno a integrazione alimentare non è variato significativamente (1613 g vs 1625 g; $P>0,10$), così come la mortalità, dallo 0,63% allo 0,25%, che è risultata minima.

L'arricchimento alimentare e le settimane hanno avuto un effetto significativo sulla frequenza di animali con lesioni podali, che sono triplicate nel corso delle tre settimane della prova (dal 12,0% al 39,0%; $P<0,001$), così come sulla pulizia del piumaggio che ha subito un peggioramento col passare delle settimane ($P<0,001$) (dal 28,0% al 9,00% di animali con piumaggio pulito) (Tabella 15). Lo stesso peggioramento è stato osservato per le condizioni del piumaggio. L'incidenza di lesioni è risultata superiore nelle galline ovaiole che hanno ricevuto l'integrazione con zucca disidratata rispetto a quelle che hanno ricevuto solo la dieta (35,0% vs 16,0%; $P<0,001$) (Tabella 15), così come la frequenza di animali con piumaggio pulito è risultata superiore nelle galline che hanno ricevuto l'integrazione alimentare (28,5% vs 8,50%; $P<0,001$) (Tabella 15). Relativamente alle condizioni dello sterno, in media il 38% delle galline oggetto della valutazione presentava lesioni sternali di lieve entità (grado 1), senza evidenziare variazioni significative in funzione dell'arricchimento alimentare o dell'età (Tabella 15). Mentre per lo stato del piumaggio il decorrere delle settimane non ha determinato differenze significative tra i due gruppi sperimentali, il gruppo in cui veniva somministrato l'arricchimento alimentare ha riscontrato una percentuale minore di animali poco impiumati, nonostante quasi la metà delle galline totali oggetto della valutazione fossero caratterizzate da un grado di copertura compromesso a livello di collo e testa, della zona dorsale e cloacale (Tabella 15).

Tabella 15. Effetto dell'arricchimento alimentare con zucca disidratata e della settimana di età in galline ovaiole: frequenza di galline con lesioni podali e sternali di lieve entità (grado 1), danni moderati (grado 1) a stato e pulizia del piumaggio degli animali

		Lesioni podali (%)	Lesioni sternali (%)	Stato piumaggio (%)	Pulizia piumaggio (%)
Osservazioni (n)		200	200	200	200
Arricchimento (A)	No	16,0	38,5	53,5	28,5
	ZD	35,0	38,0	42,5	8,50
Settimana (S)	31	12,0	37,5	43,5	28,0
	33	39,0	39,0	52,5	9,00
<i>P value</i>					
Arricchimento (A)		<0,001	0,918	0,030	<0,001
Settimana (S)		<0,001	0,758	0,070	<0,001

No: nessun arricchimento alimentare. ZD: arricchimento alimentare con zucca disidratata in una quantità pari all'8% dell'ingestione giornaliera

Rilievi comportamentali

L'analisi dei dati videoregistrati settimanalmente ha evidenziato che nei recinti in cui veniva somministrata la zucca disidratata come arricchimento alimentare il numero di galline presenti a terra nelle osservazioni fatte nelle ore di luce è risultato mediamente e significativamente superiore rispetto al gruppo di controllo ($P<0,01$) (Tabella 16a). Ragionevolmente, la somministrazione della zucca, seppure fatta solo una volta al giorno, ha stimolato le galline all'esplorazione e comunque ha spostato il loro interesse verso l'area a terra dove si trovavano le mangiatoie in cui veniva somministrata la zucca. Infatti, rispetto alle osservazioni comportamentali, nei recinti che ricevevano la zucca il numero di galline impegnate a beccare la mangiatoia è risultato pari al 5,94% delle galline osservate (Tabella 16a). Analogamente, il numero di galline ovaiole impegnate a beccare a terra è risultato maggiore nei gruppi alimentati con zucca disidratata (9,17% vs 7,26% delle galline osservate a terra; $P<0,001$), comportamento che si è verificato più frequentemente in prossimità della mangiatoia, data la possibile dispersione di zucca disidratata sulla lettiera circostante (Tabella 16a). L'aggiunta di zucca disidratata alla dieta di base ha quindi stimolato l'attività generale degli animali, portando ad un aumento della loro attività motoria, con più della metà delle galline ovaiole presenti a terra impegnate in spostamenti (55,5%; $P<0,001$). D'altra parte, nei recinti in cui è stata effettuata l'integrazione con zucca disidratata è diminuita la percentuale di animali impegnati nei bagni di sabbia (*dust bathing*), probabilmente a seguito del maggior tempo dedicato all'alimentazione e al razzolamento, e/o all'aumento del numero di animali a terra che potrebbe aver diminuito lo spazio a disposizione per questo comportamento. D'altra parte, il numero di eventi di ammassamento (*piling*) osservati è risultato mediamente inferiore nei recinti arricchiti rispetto a quelli non arricchiti (2,10 vs 2,80; $P<0,05$). Infine, la somministrazione di zucca disidratata non ha influenzato sulla percentuale di animali inattivi ($P=0,216$) o quella degli animali impegnati nella pulizia del piumaggio (*preening*) ($P=0,453$) o in interazioni aggressive ($P=0,681$) (Tabella 16a).

Tabella 16a. Effetto della somministrazione di zucca disidratata sul numero di galline osservate a terra e impegnate in comportamenti visibili (% galline osservate a terra) (media delle osservazioni dalla settimana 31 alla 33) in galline ovaiole

	Arricchimento (A)		P value
	Assente	Zucca disidratata	
Osservazioni (n)	680	680	
Galline a terra (n)	27,5	33,1	<0,01
Etogramma (% animali a terra)			
Beccare la mangiatoia	0,00	5,94	<0,001
Bagno di sabbia (<i>dust bathing</i>)	1,46	0,56	0,09
Beccare a terra	7,26	9,17	<0,001
Inattività	14,5	13,1	0,216
Pulizia piumaggio (<i>preening</i>)	12,5	9,60	0,453
Movimento	40,0	55,5	<0,001
Piling	2,80	2,10	0,05
Aggressività	1,38	1,04	0,681

Rispetto all'effetto della settimana di osservazione, dalla settimana 31 alla 33, è aumentata la percentuale di galline impegnate nella pulizia del piumaggio (*preening*) così come quelle che manifestavano comportamenti aggressivi ($P=0,01$). Nei recinti in cui veniva somministrata la zucca, dalla settimana 31 alla settimana 33 è aumentata la percentuale di animali che beccavano la mangiatoia ($P=0,01$) (Tabella 16b). Per quanto riguarda gli altri comportamenti analizzati, così come il numero delle galline mediamente presenti a terra, non sono state rilevate differenze significative fra le osservazioni effettuate nelle tre settimane in cui si è svolta la prova (Tabella 16b).

Tabella 16b. Effetto della settimana di osservazioni sul numero di galline osservate a terra e impegnate in comportamenti visibili (% galline a terra) durante le settimane di somministrazione della zucca disidratata (media dei recinti arricchiti e non arricchiti con zucca)

	Settimana (S)			P value
	31	32	33	
Osservazioni (n)	226	226	226	
Galline a terra (n)	29,8	29,8	31,0	0,580
Etogramma (% galline a terra)				
Beccare la mangiatoia	2,12	2,77	3,59	0,01
Bagno di sabbia (<i>dust bathing</i>)	1,08	0,99	0,99	0,93
Beccare a terra	8,40	8,35	8,00	0,50
Inattività	13,6	13,2	14,5	0,47
Pulizia piumaggio (<i>preening</i>)	11,6	9,74	12,1	0,01
Movimento	34,0	33,4	31,7	0,23
Piling	1,47	1,63	1,99	0,60
Aggressività	0,95	1,62	1,74	0,01

Le Figure 19 e 20 riportano il numero degli animali osservati a terra e la percentuale di galline impegnate nei diversi comportamenti in funzione dell'ora della giornata (dalle 04:30 alle 20:30) (media delle osservazioni dei recinti con e senza arricchimento nelle settimane dalla 31 alla 33).

Le variazioni del numero di animali a terra alle diverse ore di osservazioni si sono avvicinate alla significatività ($P=0,12$), come un aumento del numero di animali presenti a terra a partire dalle 04:00 fino alle 14:30, momento della giornata in cui è stato riscontrato il picco massimo di galline a terra, seguito poi da una riduzione (Figura 19a). La percentuale di galline intente a beccare la mangiatoia e ad effettuare il bagno di sabbia è variata significativamente in funzione dell'ora di osservazione ($P<0,001$), così come l'esplorazione tramite beccata a terra ($P=0,01$) per la quale tuttavia le variazioni sono risultate erratiche. Diversamente, nei moduli dell'aviaro in cui era presente la mangiatoia è stata osservata una maggiore interazione con questa da parte degli animali in corrispondenza con la somministrazione di zucca disidratata, ovvero alle 10:30 (6,47%). Nelle ore successive alla somministrazione della zucca disidratata c'è stato un progressivo calo degli animali legato alla graduale riduzione della zucca disidratata in mangiatoia, mentre è aumentata la percentuale di galline alla mangiatoia alle ore precedenti la somministrazione, i.e. 05:30 (4,74%), 07:30 (2,39%) e 09:00 (4,56%) (Figura 19b).

Generalmente, la percentuale di galline impegnate nel bagno di sabbia è risultata bassa nel corso della giornata, eccezione fatta per l'orario tra le 11:30 e le 14:30, con 5,47% e il 4,82% delle galline presenti a terra impegnate in questa attività con una marcata riduzione di questo comportamento alle 11:30, legata alla distribuzione automatica del mangime in questo orario (Figura 19c).

Nel corso della giornata, una certa percentuale di galline (in media l'8,22% delle galline a terra) è sempre stata impegnata beccare a terra, a cominciare dalle 04:00 (orario di accensione delle luci) e fino alle 17:30, quando è stato misurato un picco (18,8% di galline a terra). Così come per il bagno di sabbia, la percentuale di galline impegnate a beccare a terra è stata particolarmente elevata alle 11:30 (Figura 19d).

La percentuale di galline nella pulizia del piumaggio e in attività motorie è significativamente cambiata nel corso della giornata ($P<0,001$). La pulizia del piumaggio (*preening*) si è principalmente concentrata nelle prime ore della mattinata, con un picco massimo di galline impegnate in questa attività registrato alle 04:30 (37,69%) subito dopo l'accensione delle luci presenti nell'aviaro, quindi l'attività è diminuita (17,74% alle 05:30) per restare stabile nel corso della giornata (Figura 20f). Similmente, l'attività motoria delle galline è aumentata dalle 04:00 alle 05:30, momento in cui è stata rilevata un'elevata percentuale di galline a terra in movimento (47,53%), per poi attestarsi dalle 06:30 alle 08:30 su valori del 44,89% e 40,77% di galline in movimento rispettivamente. La percentuale maggiore di galline in movimento è stata rilevata alle 10:30 (47,60%), giustificabile con la concomitante somministrazione di zucca disidratata nei gruppi che lo prevedevano, e ad un aumento dell'agitazione dei gruppi privi di integrazione alimentare a causa dell'attività degli operatori all'interno dell'aviaro. Dai dati rilevati è inoltre possibile notare una correlazione negativa tra la percentuale di animali in movimento e quella impegnata nell'esecuzione dei bagni di sabbia, con una riduzione del valore

riferito alle galline in movimento alle 11:30, un aumento alle 13:00 e un nuovo calo alle 14:30; dopodiché la percentuale di galline in movimento a terra è tornata a crescere fino alle 19:00, per poi calare drasticamente con la riduzione dell'intensità luminosa e lo spegnimento delle luci e le galline spostate che si spostavano su piani più elevati dell'aviario per poter riposare per la notte (Figura 20g).

Infine, l'effetto dell'ora di osservazione non è risultato significativo sulle percentuali di galline inattive ($P=0,109$), in *piling* ($P=0,877$) e impegnate in comportamenti aggressivi ($P=0,18$) (Figura 20e, h, i).

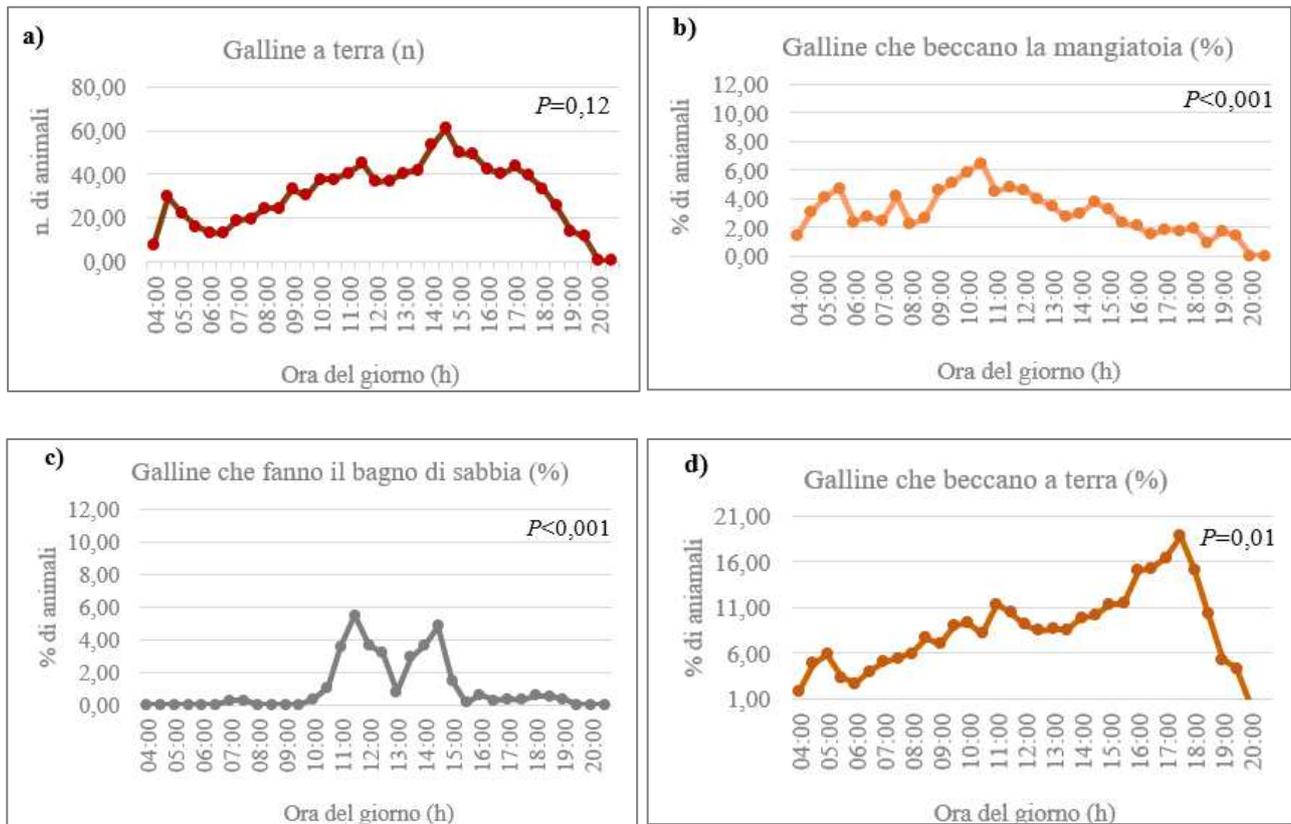


Figura 19. Effetto dell'ora di osservazione sul numero di galline a terra (a) e sulla percentuale di galline a terra impegnate nei comportamenti di "beccare la mangiatoia" (b), "fare il bagno di sabbia" (c) e "beccare a terra" (d) (osservazioni riferite alle sole ore di luce, 3 settimane di osservazioni)

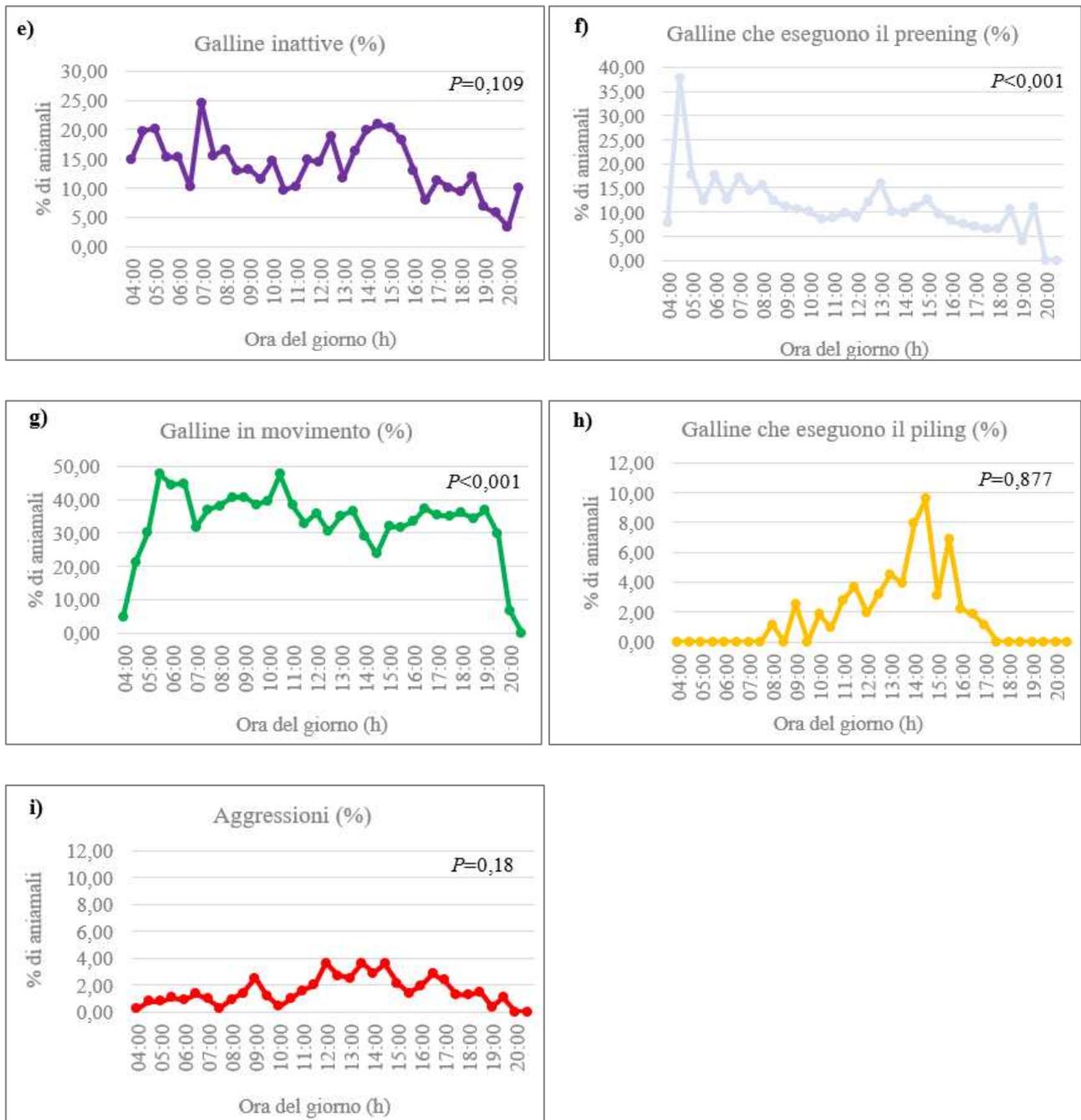


Figura 20. Effetto dell'ora di osservazione sul numero di galline impegnate nei comportamenti di "inattività" (e), "preening" (f), movimento (g), "piling" (h) e "aggressioni" (i) (osservazioni riferite alle sole ore di luce, 3 settimane di osservazioni)

Produzione di uova

L'integrazione di fonti alimentari caratterizzate da un'abbondante quota lipidica alla dieta di galline ovaiole come fonte energetica e di acidi grassi, può migliorare la produttività e la qualità delle uova, oltre che migliorare l'assorbimento di altri nutrienti (Gao *et al.*, 2021). Nel nostro, l'inclusione all'8% di zucca disidratata non ha influenzato in modo significativo la percentuale di ovodeposizione totale (96,0% nel gruppo di controllo *vs* 93,5% nel gruppo sperimentale) (Tabella 17). Mentre per la percentuale di deposizione delle uova buone e rotte non è stata rilevata alcuna differenza significativa, le uova sporche sono risultate maggiori nel gruppo in cui veniva somministrata la zucca (3,27% *vs* 1,61%; $P=0,03$), laddove è possibile che l'integrazione con la zucca, contenente una certa quantità di fibra rispetto al mangime, abbia peggiorato le caratteristiche delle feci e quindi aumentato il grado di imbrattamento delle uova oppure che le galline nei recinti con integrazione abbiano deposto più uova a terra, stazionando di più in questa area per il maggiore interesse per questa area associato con l'integrazione alimentare.

Tabella 17. Percentuale di ovodeposizione totale per gallina presente e per categoria (buone, sporche, rotte)

	Arricchimento (A)		<i>P value</i>	RMSE
	No	ZD		
Osservazioni (n)	12	12		
Uova totali, % gallina presente	96,0	93,5	0,41	4,91
Buone, % gallina presente	94,3	89,9	0,11	4,00
Sporche, % gallina presente	1,61	3,27	0,03	1,00
Rotte, % gallina presente	0,08	0,23	0,09	0,14

RSME: errore quadratico medio. No: nessun arricchimento alimentare. ZD: arricchimento alimentare con zucca disidratata in una quantità pari all'8% dell'ingestione giornaliera

Nel complesso, non sono state rilevate differenze statisticamente significative tra i due gruppi oggetto di studio sulla distribuzione delle uova deposte nelle diverse aree dell'aviaro, così come non sono state rilevate differenze sulla qualità esterna delle uova (pulite, sporche e rotte) delle stesse (Tabella 18). D'altra parte, è stata misurata una tendenza ($P=0,11$) ad una maggiore deposizione di uova a terra nei recinti con integrazione con zucca (0,52% *vs* 0,12% delle uova totali), a conferma dell'ipotesi di cui sopra fatta per spiegare la maggiore percentuale di ovodeposizione di uova sporche in questi recinti. In generale e indipendentemente dai gruppi sperimentali, la percentuale di uova deposte correttamente nei nidi è risultata molto elevata (99%) ad indicare la corretta utilizzazione della struttura. La percentuale di uova pulite deposte nei nidi è risultata superiore nelle galline del gruppo di controllo rispetto a quello sperimentale (98,0% *vs* 96,1%; $P<0,01$), come conseguenza della tendenza ad una maggiore percentuale di uova sporche nei nidi (1,46% *vs* 3,06%; $P=0,07$) che come detto sopra potrebbe essere conseguenza della produzione di feci più umide associate al consumo di zucca con un elevato contenuto di fibra (Tabella 18). Da sottolineare infine la bassissima incidenza di uova rotte misurata (inferiore allo 0,2% delle uova deposte).

Tabella 18. Distribuzione delle uova deposte totali, buone, sporche e rotte nelle varie zone dell'aviario durante il periodo di somministrazione dell'integrazione con zucca disidratata

	Arricchimento (A)		P value	RMSE
	No	ZD		
Osservazioni (n)	12	12		
Uova totali (% uova totali)				
Nel nido	99,6	99,4	0,53	0,42
Sui piani	0,32	0,08	0,29	0,36
A terra	0,12	0,52	0,11	0,38
Piano 1	0,00	0,04	0,36	0,07
Piano 2	99,6	99,4	0,39	0,39
Piano 3	0,28	0,04	0,21	0,30
Uova buone (% uova totali)				
Nel nido	98,0	96,1	0,01	0,88
Sui piani	0,24	0,00	0,16	0,26
A terra	0,00	0,17	0,16	0,18
Piano 1	0,00	0,00	0,00	0,00
Piano 2	98,1	96,1	0,01	0,88
Piano 3	0,20	0,00	0,15	0,21
Uova sporche (% uova totali)				
Nel nido	1,46	3,06	0,07	1,23
Sui piani	0,08	0,04	0,58	0,12
A terra	0,12	0,36	0,28	0,35
Piano 1	0,00	0,04	0,36	0,07
Piano 2	1,46	3,06	0,07	1,23
Piano 3	0,08	0,00	0,21	0,10
Uova rotte (% uova totali)				
Nel nido	0,08	0,21	0,12	0,13
Sui piani	0,00	0,04	0,36	0,07
A terra	0,00	0,00	0,00	0,00
Piano 1	0,00	0,00	0,00	0,00
Piano 2	0,08	0,21	0,12	0,13
Piano 3	0,00	0,04	0,36	0,07

RSME: errore quadratico medio. No: nessun arricchimento alimentare. ZD: arricchimento alimentare con zucca disidratata in una quantità pari all'8% dell'ingestione giornaliera

Qualità delle uova

L'effetto dell'integrazione alimentare con zucca disidratata sulle caratteristiche qualitative interne ed esterne delle uova analizzate è risultato nella maggior parte dei casi non significativo e poco rilevante (Tabella 19).

Benché sia stata rilevata una lieve differenza di peso delle uova intere (65,1 g nel gruppo di controllo vs 64,0 g nel gruppo sperimentale; $P \leq 0,05$), l'altezza e il diametro dell'equatore dell'uovo, lo *shape index*, lo spessore

del guscio e il pH di albume e tuorlo non sono risultati diversi fra i due gruppi, così come non è variata l'incidenza di guscio, albume e tuorlo. Quanto rilevato appare in linea con gli studi condotti da Aguilar *et al.* (2011), Màrtinez *et al.* (2010b) e Vlaicu e Panaite (2021), i quali hanno riscontrato come l'integrazione a diversi livelli di inclusione di farina di semi di zucca nella dieta di galline ovaiole non abbia avuto alcun effetto sulle prestazioni produttive e le caratteristiche di qualità interna ed esterna delle uova.

Nel nostro studio, le uniche variabili che sono risultate significativamente diverse tra i due trattamenti ($P < 0,001$) fanno riferimento alla colorazione del tuorlo dell'uovo. Poiché il colore del tuorlo dipende dal contenuto di pigmenti nella dieta, l'integrazione con fonti alimentari ricche di carotenoidi mais giallo, erba medica, zucca, carota, ecc. può migliorare l'intensità della sua colorazione, caratteristica apprezzata dai consumatori che l'associano ad una maggiore qualità e freschezza delle uova, oltre che a un contenuto nutrizionale più elevato (Nys, 2000). La luminosità del tuorlo è misurata dal parametro L^* (*lightness*), che nella presente tesi è diminuito nelle uova delle galline che avevano ricevuto l'integrazione con zucca disidratata (51,4 vs 54,2; $P < 0,001$), determinando una minore brillantezza del tuorlo che appare più scuro. È stato inoltre rilevato un aumento del parametro del colore rosso (a^* : 15,6 vs 14,5; $P < 0,001$), che ha portato il tuorlo delle uova del gruppo sperimentale ad assumere una tonalità più tendente all'arancione. La differenza maggiore è stata però riscontrata nella coordinata del giallo, b^* , passando da un 44,8 nel gruppo di controllo ad un 59,5 nel gruppo sperimentale, che ha favorito una maggiore concentrazione del pigmento giallo nel tuorlo (Tabella 19).

Tabella 19. Effetto dell'arricchimento alimentare con zucca disidratata in galline ovaiole sulle caratteristiche qualitative fisiche e reologiche, chimiche e pH delle uova

	Arricchimento (A)		P value	RSME
	No	ZD		
Uova analizzate (n)	120	120		
Uovo intero (g)	65,1	64,0	0,02	3,88
Altezza dell'uovo (mm)	57,8	57,7	0,89	3,08
Diametro dell'equatore (mm)	45,1	44,8	0,58	2,63
Pre-rotture (% uova campionate)	0,00	1,67	0,32	-
Macchie di sangue (% uova controllate)	1,67	1,67	1,00	-
Macchie di carne (% uova controllate)	0,00	1,67	0,32	-
Tuorlo (% uovo intero)	25,1	25,3	0,46	1,82
Albume (% uovo intero)	74,9	74,7	0,46	1,82
Guscio (% uovo intero)	9,89	9,93	0,72	0,60
Spessore del guscio (mm)	0,41	0,41	0,52	0,03
Shape Index (%)	1,29	1,29	0,72	0,11
Spessore del guscio (N)	25,3	24,4	0,28	3,11
Albume pH	6,04	6,04	0,88	0,11
Tuorlo pH	8,77	8,73	0,14	0,17
Tuorlo				
L*	54,2	51,4	<0,001	2,65
a*	14,5	15,6	<0,001	1,83
b*	44,8	59,5	<0,001	5,57

RSME: errore quadratico medio. No: nessun arricchimento alimentare. ZD: arricchimento alimentare con zucca disidratata in una quantità pari all'8% dell'ingestione giornaliera

Le caratteristiche chimiche di albume e tuorlo non sono state influenzate dall'arricchimento alimentare con zucca disidratata per nessuna delle variabili considerate, (Tabella 20) e sono risultate in linea con quanto riportato da Gautron *et al.* (2022) in merito ai principali componenti presenti nel tuorlo e nell'albume delle uova.

Tabella 20. Effetto dell'arricchimento alimentare con zucca disidratata in galline ovaiole: composizione chimica tipo di tuorlo ed albume d'uovo

	Arricchimento (A)		<i>P value</i>	RMSE
	No	ZD		
Osservazioni (n)	40	40		
Tuorlo				
Umidità (%)	48,1	48,3	0,48	0,79
Proteine (%)	17,0	17,0	0,97	0,31
Grassi (%)	32,2	31,4	0,14	1,03
Ceneri (%)	1,83	1,79	0,61	0,14
Albume				
Umidità (%)	87,3	87,4	0,88	0,46
Proteine (%)	10,9	10,9	0,81	0,44
Ceneri (%)	0,77	0,77	0,96	0,03

RSME: errore quadratico medio. No: nessun arricchimento alimentare. ZD: arricchimento alimentare con zucca disidratata in una quantità pari all'8% dell'ingestione giornaliera

L'inclusione di zucca disidratata non ha portato a cambiamenti nemmeno nel profilo degli acidi grassi delle uova (Tabella 21) se si esclude una variazione significativa ma minima in valore assoluto della percentuale di acido miristico (C14:0) e acido vaccenico (C18:1n7) che avrebbe potuto essere maggiore con più elevati livelli d'inclusione di zucca disidratata. Nel complesso, la percentuale di SFA totali, i MUFA totali e i PUFA totali sono risultati simili nelle uova dei due gruppi. Rispetto al profilo degli acidi grassi presenti nella dieta commerciale e nella zucca disidratata, la composizione degli acidi grassi del tuorlo ha visto un aumento degli SFA e MUFA totali, a scapito di una riduzione dei PUFA totali, variazione che ha comunque mantenuto stabile il rapporto acidi grassi saturi/acidi grassi insaturi a favore di questi ultimi (Tabella 21).

Tabella 21. Effetto dell'arricchimento alimentare con zucca disidratata in galline ovaiole: composizione degli acidi grassi del tuorlo (% del totale di acidi grassi) delle uova

Acidi grassi (%)	Arricchimento (A)		<i>P value</i>	RMSE
	No	ZD		
Osservazioni (n)	40	40		
C14:0	0,30	0,34	0,08	0,04
C16:0	25,7	25,5	0,18	0,44
C18:0	11,2	10,8	0,18	0,71
Altri SFA	0,43	0,43	0,85	0,05
C16:1n9	0,44	0,47	0,13	0,04
C16:1n7	1,92	2,03	0,16	0,17
C18:1n9	29,2	29,4	0,79	1,21
C18:1n7	1,19	1,30	0,03	0,10
Altri MUFA	0,32	0,33	0,39	0,02
C18:3n3	0,93	0,99	0,19	0,10
C22:6n3 DHA	1,93	1,84	0,27	0,18
Altri PUFA <i>n</i> -3	0,21	0,22	0,69	0,03
C18:2n6	21,2	21,7	0,38	1,06
C18:3n6	0,17	0,17	0,26	0,01
C20:4n6 AA	3,62	3,47	0,38	0,37
C22:5n6 DPA	0,35	0,35	0,87	0,07
Altri PUFA <i>n</i> -6	0,77	0,78	0,74	0,06
SFA totali	37,7	37,0	0,10	0,86
MUFA totali	33,1	33,5	0,52	1,35
PUFA totali	29,2	29,5	0,59	1,11
PUFA <i>n</i> -3	3,08	3,05	0,75	0,18
PUFA <i>n</i> -6	26,1	26,4	0,51	1,00
PUFA <i>n</i> -6/ <i>n</i> -3	8,51	8,69	0,40	0,47

RSME: errore quadratico medio. No: nessun arricchimento alimentare. ZD: arricchimento alimentare con zucca disidratata in una quantità pari all'8% dell'ingestione giornaliera.

CONCLUSIONI

L'impiego di scarti alimentari nell'alimentazione degli animali allevati rappresenta una prospettiva interessante nell'ottica di riduzione del consumo di risorse naturali, evitando sprechi e ottimizzando l'uso delle materie prime, oltre ad offrire una fonte nutrizionale utile e sostenibile alla dieta animale, migliorandone la salute e il benessere. La valorizzazione degli scarti alimentari andrebbe a soddisfare le richieste dei consumatori in materia di sostenibilità ambientale, economia circolare e benessere animale.

In tal senso, la presente prova sperimentale ha inteso valutare l'effetto dell'integrazione di zucca disidratata alla dieta di base di galline ovaiole come arricchimento in grado di migliorare il repertorio comportamentale degli animali, valutandone le ricadute sui parametri produttivi e la qualità dei prodotti. D'altra parte, è cambiato il comportamento degli animali e in parte anche la loro distribuzione all'interno della struttura con qualche conseguenza sulla deposizione delle uova. Se gli animali che hanno ricevuto la zucca si sono dimostrati più attivi e più dedicati all'esplorazione dell'ambiente, le osservazioni sull'incidenza di lesioni podali e sulla pulizia del piumaggio meritano ulteriori approfondimenti su un numero maggiore di animali per verificare se siano imputabili all'integrazione alimentare o dipendano da situazioni pregresse esistenti nei moduli utilizzati.

L'integrazione della zucca ha in parte influenzato il comportamento di deposizione: nonostante la maggior parte delle uova venisse comunque deposta all'interno dei nidi in entrambi i gruppi analizzati, è stato rilevato un incremento delle uova deposte a terra nel gruppo in cui avveniva la somministrazione, favorendo un aumento dell'imbrattamento delle uova rispetto al gruppo di controllo. Relativamente alla qualità reologica delle uova e alla loro composizione chimica, l'analisi dei dati non ha evidenziato differenze sostanziali tra le uova prodotte dai due gruppi. L'unico parametro che differisce significativamente tra i due gruppi è la colorazione del tuorlo delle uova, che nel caso della somministrazione di zucca disidratata appare meno luminoso, grazie ad un aumento della concentrazione dei pigmenti gialli e rossi.

Sulla base dei risultati ottenuti dalla presente tesi, è possibile concludere che l'integrazione di zucca disidratata all'8% d'ingestione giornaliera delle galline ovaiole può influenzare il comportamento degli animali aumentando la loro attività e la qualità delle uova, aumentando l'intensità della colorazione. Per questi aspetti specifici, nella prospettiva di migliorare il benessere animale e la qualità della produzione, prevedere una somministrazione di zucca disidratata con diverse modalità (ad esempio, a spaglio nella lettiera o un'inclusione diretta nel mangime di base), a livelli d'inclusione maggiori o per un periodo di prova più lungo, potrebbe migliorare gli aspetti positivi evidenziati nella presente tesi.

BIBLIOGRAFIA

- Abdelnour S.A., Metwally M.G.E., Bahgat L.B., Naiel M.A.E. 2023. Pumpkin seed oil-supplemented diets promoted the growth productivity, antioxidative capacity, and immune response in heat-stressed growing rabbits. *Tropical Animal Health and Production*, 55(1), 55.
- Abo-State H.A., El-Monairy M.M., Hammouda Y.A., Hassan H.M.A. 2022. Effect of Pumpkin Seed Oil (*Cucurbita maxima*) Supplementation to Nile Tilapia (*O. niloticus*) Diets on Performance, Feed Utilization and Body Composition. *Advances in Animal and Veterinary Sciences*, 10(4), 882–887.
- Achilonu M.C., Nwafor I.C., Umesiobi D.O., Sedibe M.M. 2018. Biochemical Proximates of Pumpkin (*Cucurbitaceae* Spp.) and Their Beneficial Effects on the General Well-Being of Poultry Species. *Journal Animal Physiological Animal Nutrition*, 102, 5–16.
- Aerni V., El-Letheyand H., Wechsler B. 2000. Effect of foraging material and food form on feather pecking in laying hens. *British Poultry Science*, 41(1), 16–21.
- Aguilar Y.M., Yero O.M., Navarro M.I.V., Hurtado C.A.B., Lopez J.A.C., Mejia L.B.G. 2011. Effect of squash seed meal (*Cucurbita moschata*) on broiler performance, sensory meat quality, and blood lipid profile. *Brazilian Journal of Poultry Science*, 13, 219–226.
- AOAC (1995), Official Methods of Analysis, in: Association of Official Analytical Chemists (16th ed.), Washington, D.C.
- Bakeer M.R., Saleh S.Y., Gazia N., Abdelrahman H.A., Elolimy A., Abdelatty A.M. 2021. Effect of dietary pumpkin (*Cucurbita moschata*) seed oil supplementation on reproductive performance and serum antioxidant capacity in male and nulliparous female V-Line rabbits. *Italian Journal of Animal Science*, 20(1), 419–425.
- Banca Dati Nazionale dell'Anagrafe Zootecnica 2024. [Sistema Informativo Veterinario, Statistiche](https://www.vetinfo.it/j6_statistiche/#/report-pbi/41). Disponibile su: https://www.vetinfo.it/j6_statistiche/#/report-pbi/41. Data di accesso: 20/10/2024
- Bates D.M., Robinson R.W., Jeffrey C. 1990. An outline classification of the Cucurbitaceae. *Biology and Utilization of the Cucurbitaceae*. Cornell University Press. Ithaca, New York. 3–9, 449–463.
- Belitz H.D., Grosch W., Schieberle P. 2009. Eggs. *Food Chemistry*, 200, 546–561.
- Bestman M., Koene P., Wagenaar J.P. 2009. Influence of farm factors on the occurrence of feather pecking in organic reared hens and their predictability for feather pecking in the laying period. *Applied Animal Behaviour Science*, 121 (2), 120–125.
- Boldea I.M., Dragomir C., Gras M.A., Ropota M. 2021. Inclusion of rapeseed and pumpkin seed cakes in diets for Murciano-Granadina goats alters the fatty acid profile of milk. *South African Journal of Animal Science*, 51, 262–270.

- Boulding K.E. 1966. The Economics of the Coming Spaceship Earth. *Environmental Quality in a Growing Economy*, 1, 3–14.
- Bracke M.B.M., Hopster H. 2006. Assessing the Importance of Natural Behavior for Animal Welfare. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*, 19(1), 77–89.
- Bracke M.B.M., Spruijt B.M., Metz J.H.M. 1999. Overall animal welfare assessment reviewed. Is it possible. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, 47(3), 279–291.
- Brambell Committee 1965. Report of the to Enquire into the Welfare of Animals kept under Intensive Livestock Husbandry Systems “Brambell Report”, London, Her Majesty’s Stationery Office. Disponibile su: <https://edepot.wur.nl/134379>. Data di accesso: 20/10/2024
- Broom D.M. 1986. Indicators of poor welfare. *British Veterinary Journal*, 142, 524–526.
- Budžaki S., Strelec I., Krnić M., Alilović K., Tišma M., Zelić B. 2018. Proximate analysis of cold-press oil cakes after biological treatment with *Trametes versicolor* and *Humicola grisea*. *Engineering in Life Science*, 18, 924–931.
- Campbell D.L.M., de Haas E.N., Lee C. 2019. Environmental enrichment for laying hens during rearing in relation to their behavioural and physiological development. *Poultry Science*, 98, 9–28.
- Castrica M., Tedesco E.A.D., Panseri S., Ferrazzi G., Ventura V., Frisio G.D., Balzaretto M.C. 2018. Pet Food as the Most Concrete Strategy for Using Food Waste as Feedstuff within the European Context: A Feasibility Study. *Sustainability*, 10(6), 2035.
- Cattaneo A., Sánchez M.V., Torero M., Vos R. 2021. Reducing food loss and waste: five challenges for policy and research. *Food Policy*, 98, 101974.
- CIWF, Settore Alimentare 2024. Principali indicatori di benessere galline ovaiole. Disponibile su: <https://www.compassionsettorealimentare.it/risorse/galline-ovaiole/principali-indicatori-di-benessere-galline-ovaiole/>. Data di accesso: 20/10/2024
- Comunicazione della Commissione del 16 aprile 2018. Orientamenti per l’utilizzo come mangimi di alimenti non più destinati al consumo umano (2018/C 133/02). Disponibile su: [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:52018XC0416\(01\)&from=NL](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:52018XC0416(01)&from=NL). Data di accesso: 20/10/2024
- Commissione Europea 2024. Agricultural and Rural Development. Disponibile su: https://agriculture.ec.europa.eu/farming/animal-products/eggs_it#:~:text=Comitati-.Sintesi,misure%20di%20sostegno%20al%20mercato. Data di accesso: 20/10/2024
- CREA 2017. Linee Guida per una sana alimentazione. Dossier scientifico, 17esima edizione, Roma. Disponibile su: https://www.crea.gov.it/documents/59764/0/Dossier+LG+2017_CAP10.pdf/627ccb4d-4f80-cc82-bd3a-7156c27ddd4a?t=1575530729812. Data di accesso: 20/10/2024

Decreto Legislativo n. 267 del 29 luglio 2003, Attuazione delle direttive 1999/74/CE e 2002/4/CE, per la protezione delle galline ovaiole e la registrazione dei relativi stabilimenti di allevamento. Disponibile su: https://www.gazzettaufficiale.it/atto/serie_generale/caricaDettaglioAtto/originario?atto.dataPubblicazioneGazzetta=2003-09-20&atto.codiceRedazionale=003G0292&elenco30giorni=false . Data di accesso: 20/10/2024

Despoudi S., Bucatariu C., Otles S., Kartal C. 2021. Food waste management, valorization, and sustainability in the food industry. *Food waste recovery*, 1, 3–19.

Direttiva 1999/74/CE del Consiglio europeo del 19 luglio 1999, Norme minime per la protezione delle galline ovaiole. Disponibile su: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:01999L0074-20140101> . Data di accesso: 20/10/2024

Dou Z., Toth J.D., Westendorf M.L. 2018. Food waste for livestock feeding: Feasibility, safety, and sustainability implications. *Global Food Security*, 17, 154–161.

Duncan I.J.H. 2011. The pros and cons of cages. *World's Poultry Science Journal*, 57, 381–390.

EFSA Panel on Animal Health and Welfare (AHAW). 2012. Statement on the use of animal-based measures to assess the welfare of animals. *EFSA Journal*, 10(6), 2767. Disponibile su: <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2012.2767> . Data di accesso: 20/10/2024

Esquinas-Alcazar J.T., Gulick P.J. 1983. Genetic Resources of Cucurbitaceae: A global report. International Board for Plant Genetic Resources. Secretariat, Rome (Italy), 2, 1–5.

European Union, European Parliament resolution of 10 June 2021 on the European Citizen's Initiative "End of the Cage Age" (2021/2633(RSP)). Disponibile su: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52021IP0295>. Data di accesso: 20/10/2024

FAO 2011. Global food losses and food waste, extent, causes and prevention. Rome (Italy). Disponibile su: <https://www.fao.org/4/mb060e/mb060e00.htm>. Data di accesso:20/10/2024

FAO 2019. The state of food and agriculture 2019. Moving forward on food loss and waste reduction. Rome (Italy). Disponibile su: <https://www.fao.org/policy-support/tools-and-publications/resources-details/en/c/1242090/>. Data di accesso:20/10/2024

FAO 2023. World Food and Agriculture – Statistical Yearbook 2023. Disponibile su: <https://doi.org/10.4060/cc8166en>. Data di accesso: 20/10/2024

FAO 2024. Meat Market Review: Overview of global market developments in 2023. Disponibile su: <https://www.fao.org/markets-and-trade/publications/detail/en/c/1681051/>. Data di accesso: 20/10/2024

FAO, IFAD, UNICEF, WFP, WHO 2024. The State of Food Security and Nutrition in the World 2024. Financing to end hunger, food insecurity and malnutrition in all its forms. Rome (Italy). Disponibile su: <https://openknowledge.fao.org/items/d8f47624-8b43-412a-bbc2-18d2d830ad5b>. Data di accesso: 20/10/2024

FAWC 1979. Farm Animal Welfare Council Press Statement. Disponibile su: <https://webarchive.nationalarchives.gov.uk/ukgwa/20121007104210/>. Data di accesso: 20/10/2024

Fisher M.W. 2009. Defining animal welfare – does consistency matter?. *New Zealand Veterinary Journal*, 57(2), 71–73.

Fraser D., Duncan I.J.H., Edwards S.A., Grandin T., Gregory N.G., Guyonnet V., Hemsworth P.H., Huertas S.M., Huzzey J.M., Mellor D.J., Mench J.A., Spinka M., Whay H.R. 2013. General Principles for the welfare of animals in production systems: The underlying science and its application. *Veterinary Journal*, 198, 19–27.

Gao Z., Zhang J., Li F., Zheng J., Xu G. 2021. Effect of Oils in Feed on the Production Performance and Egg Quality of Laying Hens. *Animals*, 11(12), 3482.

Gautron J., Dombre C., Nau F., Feidt C., Guillier L. 2022. Production factors affecting the quality of chicken table eggs and egg products in Europe. *Animal the international journal of animal biosciences*, 16(1), 100425.

Grobas S., Mendez J., Lazaro R., de Blas C., Mateo G.G. 2001. Influence of source and percentage of fat added to diet on performance and fatty acid composition of egg yolks of two strains of laying hens. *Poultry Science*, 80, 1171–1179.

Habib A., Biswas S., Siddique A.H., Manirujjaman M., Uddin B., Hasan S., Khan M.M.H., Uddin M., Islam M., Hasan M. 2015. Nutritional and Lipid Composition Analysis of Pumpkin Seed (*Cucurbita maxima* Linn.). *Journal of Nutrition & Food Sciences*, 5(4), 374–376.

Hajati H., Hasanabadi A., Waldroup P.W. 2011. Effects of dietary supplementation with pumpkin oil (*Cucurbita pepo*) on performance and blood fat of broiler chickens during finisher period. *American Journal of Animal and Veterinary Sciences*, 6(1), 40–44.

Halik G., Lozicki A., Wilczak J., Arkuszewska E., Makarski M. 2018. Pumpkin (*Cucurbita maxima* D.) Silage as a Feed that Improves Nutritional Properties of Cow's Milk. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 20(7), 1383–1394.

Hartcher K.A., Wilkinson S.J., Hemsworth P.H., Cronin G.M. 2016. Severe feather-pecking in non-cage laying hens and some associated and predisposing factors. *World's Poultry Science Journal*, 72, 103–114.

Heerkens J.L.T., Delezie E., Kempen I., Zoons J., Ampe B., Rodenburg T.B., Tuytens F.A.M. 2015. Specific characteristics of the aviary housing system affect plumage condition, mortality and production in laying hens. *Poultry Science*, 94, 2008–2017.

Herkel R., Gálik B., Bíro D., Rolinec M., Šimko M., Juráček M., Majlát M., Arpášová H. 2014. The effect of pumpkin and flaxseed oils on selected parameters of laying hens performance. *Acta Fytotechnica et Zootechnica*, 17, 96–99.

- Hughes B.O., Duncan I.J. 1988. The notion of ethological "need," models of motivation and animal welfare. *Animal Behaviour*, 36(6), 1696–1707.
- Hughes B.O., Gentle M.J. 1995. Beak trimming of poultry: its implications for welfare. *World's Poultry Science Journal*, 51(1), 51–61.
- Huopalahti R., López-Fandiño R., Anton M., Schade R. 2007. Composition and Structure of Hen Egg Yolk. *Bioactive Egg Compounds*. Springer, Berlin, Heidelberg, 1, 1–6.
- ISMEA 2024. Le prospettive di mercato per carni avicole e uova. Disponibile su: <https://www.ismeamercati.it/flex/cm/pages/ServeBLOB.php/L/IT/IDPagina/13077>. Data di accesso: 20/10/2024
- Jaswir I., Shahidan N., Othman R., Has-Yun Hashim Y.Z., Octavianti F., bin Salleh M.N. 2014. Effects of season and storage period on accumulation of individual carotenoids in pumpkin flesh (*Cucurbita moschata*). *Journal Oleo Science*, 63, 761–767.
- Keller M., Reidy B., Scheurer A., Eggerschwiler L., Morel I., Giller K. 2021. Soybean Meal Can Be Replaced by Faba Beans, Pumpkin Seed Cake, Spirulina or Be Completely Omitted in a Forage-Based Diet for Fattening Bulls to Achieve Comparable Performance, Carcass and Meat Quality. *Animals*, 11, 1588.
- Kemper N., Tetens J. 2024. Feather Pecking Behavior in Laying Hens: Challenges in Management and Breeding. *Production Diseases in Farm Animals*. Springer, Cham., 7, 493–515.
- Kim Y.M., Kim Jin E., Kim M., Choi C., Lee B. 2012. Comparison of the chemical compositions and nutritive values of various pumpkin (*Cucurbitaceae*) Species and Parts. *Nutrition Research and Practice*, 6(1), 21–27.
- Klir Z., Castro-Montoya J.M., Novoselec J., Molkentin J., Domacinovic M., Mioc B., Dickhoefer U., Antunovich Z. 2017. Influence of pumpkin seed cake and extruded linseed on milk production and milk fatty acid profile in Alpine goats. *Animal the international journal of animal biosciences*, 11(10), 1772–1778.
- Kulczyński B. Gramza-Michałowska A. 2019. The profile of secondary metabolites and other bioactive compounds in *Cucurbita pepo* L. and *Cucurbita moschata* pumpkin cultivars. *Molecules*, 24(16), 2945.
- Lay D.C. Jr., Fulton R.M., Hester P.Y., Karcher D.M., Kjaer J.B., Mench J.A., Mullens B.A., Newberry R.C., Nicol C.J., O'Sullivan N.P., Porter R.E. 2011. Hen welfare in different housing systems. *Poultry Science*, 90(1), 278–294.
- Lee Y.K., Chung W.I., Ezura H. 2003. Efficient plant regeneration via organogenesis in winter squash (*Cucurbita maxima* Duch.). *Plant science*, 164(3), 413–418.
- Li Y., Zhang G.N., Fang X.P., Zhao C., Wu H.Y., Lan Y.X., Che L., Sun Y.K., Lv J.V., Zhang Y.G., Pan C.F. 2021. Effects of replacing soybean meal with pumpkin seed cake and dried distillers grains with solubles on

milk performance and antioxidant functions in dairy cows. *Animal the international journal of animal biosciences*, 15(3), 100004.

Lira R., Andres T.C., Nee M. 1995. Estudios Taxonómicos y Ecogeográficos de las Cucurbitaceae Latinoamericanas de Importancia Económica: Cucurbita, Sechium, Sicana y Cyclanthera, Systematic and Ecogeographic Studies on Crop Gene pools 9. International Plant Genetic Resources Institute, Rome, 1–115.

Machebe N.S., Ugwu S.O., Atu C.S., Mbunwen N.-F. H. 2013. Intake of some biological seeds and root extracts of plants improves fertility and hatchability of turkey eggs. *Journal of Basic and Applied Sciences*, 9, 538–542.

Martínez Y., Valdivié M., Estarrón M., Solano G., Córdova J. 2010b. Serum lipid profile of laying hens fed pumpkin (*Cucurbita maxima*) seed level. *Cuban Journal of Agricultural Science*, 44, 392–393.

Martínez Y., Valdivié M., Martínez O., Estarrón M., Córdova J. 2010a. Utilization of pumpkin (*Cucurbita moschata*) seed in broiler chicken diets. *Cuban Journal of Agricultural Science*, 44, 387–391.

Martínez Y., Valdivié M., Solano G., Estarrón M., Martínez O., Córdova J. 2012. Effect of pumpkin (*Cucurbita maxima*) seed meal on total cholesterol and fatty acids of laying hen eggs. *Cuban Journal of Agricultural Science*, 46, 73–78.

Montella L. 2024. Uno sguardo all'industria avicola mondiale del futuro. *Zootecnica.it*. Disponibile su: <https://zootecnica.it/2024/05/02/uno-sguardo-allindustria-avicola-mondiale-del-futuro/>. Data di accesso: 20/10/2024

Newberry R.C. 1995. Environmental enrichment: Increasing the biological relevance of captive environments. *Applied Animal Behaviour Science*, 44, 229–243.

Nørgaard-Nielsen G., Vestergaard K., Simonsen H.B. 1993. Effects of rearing experience and stimulus enrichment on feather damage in laying hens. *Applied Animal Behaviour Science*, 38(3–4), 345–352.

Nys Y. 2000. Dietary carotenoids and egg yolk coloration. *Archiv fur Geflugelkunde*, 64(2), 45–54.

OECD 2016. Squashes, pumkins, zucchinis and gourds (*Cucurbita* species). Safety Assessment of Transgenic Organisms in the Environment, OECD Consensus Document, 5, 83–149.

Parlamento Europeo 2023. Economia circolare: definizione, importanza e vantaggi. Disponibile su: <https://www.europarl.europa.eu/topics/it/article/20151201STO05603/economia-circolare-definizione-importanza-e-vantaggi>. Data di accesso: 20/10/2024

Plants of the World Online 2024. Disponibile su: <https://powo.science.kew.org/>. Data di accesso: 20/10/2024

Rakita S., Kokić B., Manoni M., Mazzoleni S., Lin P., Luciano A., Ottoboni M., Cheli F., Pinotti L. 2013. Cold-Pressed Oilseed Cakes as Alternative and Sustainable Feed Ingredients. *Foods*, 12(3), 432.

Regolamento (CE) n. 1069/2009 del Parlamento europeo e del Consiglio del 21 ottobre 2009. abroga il Regolamento (CE) n. 1774/2002 (regolamento sui sottoprodotti di origine animale). Disponibile su: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32009R1069> . Data di accesso: 20/10/2024

Regolamento (CE) n. 1774/2002 del Parlamento europeo e del Consiglio del 03 ottobre 2002. Norme sanitarie relative ai sottoprodotti di origine animale non destinati al consumo umano. Disponibile su: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32002R1774> . Data di accesso: 20/10/2024

Regolamento (CE) n. 1804/1999 del Consiglio del 19 luglio 1999. Completa, per le produzioni animali, il Regolamento (CEE) n. 2092/91 relativo al metodo di produzione biologico di prodotti agricoli e alla indicazione di tale metodo sui prodotti agricoli e sulle derrate alimentari. Disponibile su: <https://www.ccpb.it/wp-content/uploads/documenti/1804-99.pdf> . Data di accesso: 20/10/2024

Regolamento (CE) n. 999/2001 del Parlamento europeo e del Consiglio del 22 maggio 2001. Disposizioni per la prevenzione, il controllo e l'eradicazione di alcune encefalopatie spongiformi trasmissibili. Disponibile su: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:2001R0999:20060709:IT:PDF> . Data di accesso: 20/10/2024

Regolamento (UE) n. 68/2013 della Commissione europea del 16 gennaio 2013. Catalogo delle materie prime per mangimi. Disponibile su: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32013R0068>. Data di accesso: 20/10/2024

Rico X., Gullón R., Alonso J.L., Yáñez R. 2020. Recovery of high value-added compounds from pineapple, melon, watermelon and pumpkin processing by-products. *Food Research International*, 132, 109086.

Robinson R.W., Decker-Walters D.S. 1997. *Cucurbits*. Cab International, Wallingford, Oxon, New York, 6.

Rodenburg T.B., Van Krimpen M.M., De Jong I.C., De Haas E.N., Kops M.S., Riedstra B.J., Nordquist R.E., Wagenaar J.P., Bestman M., Nicol C.J. 2013. The prevention and control of feather pecking in laying hens: identifying the underlying principles. *Worlds Poultry Science Journal*, 69, 361–374.

Roy P., Mohanty A.K., Dick P., Misra M. 2023. A review on the challenges and choices for food waste valorization: Environmental and economic impacts. *ACS Environmental Au*, 3(2), 58–75.

Sancho P., Pinacho A., Ramos P., Tejedor C. 2004. Microbiological characterization of food residues for animal feeding. *Waste Management*, 24, 919–926.

Sandøe P. 1996. Animal welfare and human welfare, are they the same kind of thing? *Acta Agriculturae Scandinavica Section. Animal Science Supplement*, 27, 11–15.

Sezgin A., Aydın B. 2021. Effect of replacing dietary soybean meal with pumpkin (*Cucurbita pepo*) seed cake on growth, feed utilization, haematological parameters and fatty acid composition of mirror carp (*Cyprinus carpio*). *Aquaculture Research*, 52, 5870–5881.

- Singh A., Kumar V. 2024. Pumpkin seeds as nutraceutical and functional food ingredient for future. *Grain and oil Science and Technology*, 7(1), 12–29.
- Sobczak P., Zawislak K., Starek A., Żukiewicz-Sobczak W., Sagan A., Zdybel B., Andrejko D. 2020. Compaction Process as a Concept of Press-Cake Production from Organic Waste. *Sustainability*, 12, 1567.
- Stajcic S. đ., Lato P., Canadanovic-Brunet J., Cetkovic G., Mandic A., Tumbas Saponjac V., Vulic J., Seregelj V., Petrovic J. 2022. Encapsulation of bioactive compounds extracted from Cucurbita moschata pumpkin waste: the multi-objective optimization study. *Journal of Microencapsulation*, 39(4), 380–393.
- Steenfeldt S., Kjaer J.B., Engberg R.M. 2007. Effect of feeding silages or carrots as supplements to laying hens on production performance, nutrient digestibility, gut structure, gut microflora and feather pecking behaviour. *British Poultry Science* 48(4), 454–68.
- Sumner L.W. 1996. *Welfare, Happiness and Ethics*. Clarendon Press, Oxford, 1, 1–26.
- Surai P.F., Sparks N.H.C. 2001. Designer eggs: From improvement of egg composition to functional food. *Trends in Food Science and Technology*, 12, 7–16.
- Swiatkiewicz S., Koreleski J. 2008. The effect of zinc and manganese source in the diet for laying hens on eggshell and bones quality. *Veterinari Medicina*, 53, 555–563.
- Unaitalia (2024), *Relazione annuale Unaitalia 2024*. Disponibile su: <https://www.unaitalia.com/relazione-annuale-e-risorse/>. Data di accesso: 20/10/2024
- United Nations, Department of Economic and Social Affairs Population Division 2024. *World Population Prospects 2024: Summary of Results*. Disponibile su: <https://population.un.org/wpp/>. [Data di accesso: 20/10/2024](#)
- Urugo M.M., Teka T.A., Gemede H.F., Mersha S., Tessema A., Woldemariam H.W., Admassu H. 2024. A comprehensive review of current approaches on food waste reduction strategies. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 23(5), e70011
- Valdez-Arjona L.P., Ramirez-Mella M. 2019. Pumpkin Waste as Livestock Feed: Impact on Nutrition and Animal Health and on Quality of Meat, Milk, and Egg. *Animals*, 9(10), 769.
- Vlaicu P.A., Panaite T.D. 2022. Effect of dietary pumpkin (Cucurbita moschata) seed meal on layer performance and egg quality characteristics. *Animal Bioscience*, 35(2), 236–246.
- Webster A.B. 2004. Welfare implications of avian osteoporosis. *Poultry Science*, 83, 184–192.
- Welfare Quality Project 2009. *Development of the Welfare Quality Assessment System*. Disponibile su: <https://www.welfarequalitynetwork.net/media/1120/wqr12.pdf>. Data di accesso: 20/10/2024

- Westendorf M.L., Zirkle Pas E.W., Gordon R. 1996. Reding Food or Table Waste to Livestock. *The Professional Animal Scientist*, 12(3), 129–137.
- Whitaker T.W., Bemis W.P. 1976. Cucurbits: Cucumis, Citrullus, Cucurbita, Lagenaria (Cucurbitaceae). *Evolution of Crop Plants*, 64–69.
- Widowski T., Classen H., Newberry R., Petrik M., Schwean-Lardner K., Cottee S., Cox, B. 2013. Code of practice for the care and handling of pullets, layers and spent fowl: Poultry (layers). *Poultry (Layer) Code of Practice Scientific Committee*, 4–5, 44–71.
- Windhorst H.W. 2022. Modelli e dinamiche dell'industria avicola europea. *Zootecnica.it*. Disponibile su: <https://zootecnica.it/2022/02/26/modelli-e-dinamiche-dellindustria-avicola-europea-parte-1/>. Data di accesso: 20/10/2024
- Yadav M., Jain S., Tomar R., Prasad G.B.K.S., Yadav H. 2010. Medicinal and biological potential of pumpkin. *Nutrition Research Reviews*, 23(2), 184–190.
- Zdunic G.M., Menkovic N.R., Jadrantin M.B., Novakovic M.M., Savikin K.P., Zivkovic J.C. 2016. Phenolic compounds and carotenoids in pumpkin fruit and related traditional products. *Hemijaska industrija*, 70(4), 429–433.