

Qualità della carne: problematiche attuali nelle filiere di polli da carne - *Sintesi*

Caratteristiche sensoriali e composizione nutrizionale della carne dei polli broiler

L'intensificarsi della produzione di polli da carne ha aumentato la quantità di carne di pollo disponibile sul mercato, tuttavia questo ha comportato un peggioramento nei livelli di salute e benessere dei polli. Nella produzione intensiva standard di polli, le razze da carne sono selezionate principalmente per le caratteristiche di rendimento. Al contrario, le varietà di polli da carne tenute in ambienti di allevamento più arricchiti e meno restrittivi (ad esempio, allevamenti estensivi al coperto, allevamenti all'aperto o biologici) sono tipicamente selezionate per ottenere risultati migliori in termini di benessere, come una maggiore forza nelle zampe, un maggiore livello di attività e una migliore espressione comportamentale. La pressante selezione per una crescita rapida e un alto rendimento della carne (specialmente del petto) non solo ha conseguenze dannose sul benessere dei polli, ma influisce anche sulla qualità della loro carne, due aspetti che si sono rivelati sempre più importanti per consumatori e consumatrici¹.

Inoltre, i polli da carne nei sistemi di produzione standard vivono generalmente in ambienti spogli e affollati, con scarse opportunità di esprimere comportamenti motivati come appollaiarsi e becchettare alla ricerca di cibo. Anche questi fattori ambientali influenzano la qualità della carne.

La maggior parte delle ricerche condotte finora sull'impatto della razza e dell'ambiente di allevamento sulle caratteristiche sensoriali e nutrizionali della carne non può essere direttamente confrontata, a causa della grande variazione tra gli studi nelle razze utilizzate e nelle condizioni di allevamento. Diversi studi hanno tuttavia messo in relazione alcuni parametri di qualità della carne con fattori legati all'ambiente di stabulazione e alla genetica utilizzata. Ad esempio, le razze a crescita più lenta tendono ad avere una maggiore percentuale di grasso addominale, un contenuto proteico più elevato e valori di pH più bassi rispetto alle razze a crescita rapida, mentre l'accesso all'aperto migliora la composizione degli acidi grassi polinsaturi (PUFA) e il contenuto di vitamina E.

Miopatie del muscolo pettorale

È stato dimostrato che la composizione della carcassa e la quantità di carne considerata accettabile per il consumo sono fortemente influenzate dal metabolismo veloce delle razze a crescita rapida. La selezione per un tasso di crescita accelerato e un alto rendimento di carne del petto nei polli da carne ha aumentato l'incidenza delle miopatie del muscolo pettorale, sollevando preoccupazioni sia sul piano del benessere che su quello economico.



Le miopatie del muscolo pettorale più frequenti riguardano i due muscoli principali che formano il pettorale. I problemi che colpiscono il muscolo Pectoralis major (*white striping* o striatura bianca, petto di legno e spaghetti-meat) e il muscolo Pectoralis minor (miopatia pettorale profonda, carni PSE-like ovvero pallide-soffici-essudative ed il *gaping* del P. minor) si sviluppano più facilmente nei polli in cui il muscolo tenta di far fronte alle richieste di crescita costantemente elevate. Ciò significa che è più probabile riscontrare queste condizioni nei polli più pesanti e a crescita rapida.

La carne del petto affetta da queste miopatie del muscolo pettorale può non essere adatta alla vendita come filetto intero o ad altre lavorazioni a causa di alti livelli di tessuto connettivo, muscolo indurito e fibre muscolari facilmente frammentate. La ricerca ha inoltre dimostrato che il *white striping* modifica la composizione nutrizionale della carne, determinando livelli più elevati di grassi e meno proteine. Questo profilo nutrizionale alterato può non soddisfare le aspettative dei consumatori tradizionali, che vedono nella carne di pollo una fonte proteica sana e magra, e portare di conseguenza a perdite economiche e sprechi alimentari.

Le miopatie del muscolo pettorale non solo portano a un declino della qualità della carne, la ricerca indica anche che queste condizioni determinano uno scarso livello di salute e benessere degli animali, manifestandosi tramite infiammazioni croniche dei tessuti profondi nelle prime fasi di vita dei polli e inibendo i loro normali movimenti, interferendo con il battito delle ali e la capacità di camminare.

MESSAGGI CHIAVE

- La qualità della carne di pollo è influenzata dalla razza, dalla dieta, dalle condizioni di allevamento e dalla densità di allevamento:
 - La carne delle razze a crescita più lenta tende ad avere un contenuto più elevato di acidi grassi polinsaturi (PUFA) rispetto alle razze a crescita rapida.
 - Le razze a crescita più lenta tendono ad avere una percentuale maggiore di grasso addominale, un contenuto proteico più elevato e valori di pH più bassi.
 - L'accesso a zone all'aperto migliora la composizione degli acidi grassi polinsaturi.
 - L'allevamento all'aperto aumenta il contenuto di vitamina E.
 - Una minore densità di allevamento diminuisce il contenuto di grasso intramuscolare, riduce le perdite di cottura e aumenta il rendimento della carcassa e del petto.
- Le razze a crescita rapida con elevata produzione di carne del petto sono più inclini a soffrire di miopatie del muscolo pettorale rispetto alle razze a crescita più lenta.
- Le miopatie del muscolo pettorale sono associate a problemi di benessere quali:
 - Infiammazione muscolare cronica.
 - Aumento dell'incidenza della mortalità.
 - Aumento dell'incidenza di malattie polmonari.
 - Ipercontrazione muscolare con conseguente compromissione del movimento delle ali.
 - Capacità di deambulazione ridotta.



Qualità della carne: problematiche attuali nelle filiere di polli da carne – *Referenze scientifiche*

Introduzione

Il termine "qualità della carne" è utilizzato per descrivere le caratteristiche generali della carne, comprese le sue proprietà fisiche, chimiche, morfologiche, biochimiche, microbiche, sensoriali, tecnologiche, igieniche, nutrizionali e culinarie². L'allevamento di polli da carne è il settore della produzione animale in più rapida crescita e la carne di pollo è al secondo posto tra le più consumate al mondo³. Sono numerosi i fattori che possono influire sulle proprietà qualitative della carne di pollo. La genetica, l'età, il sesso, il tipo di muscolo, la struttura della fibra muscolare, il sistema di produzione, l'alimentazione, la sospensione di cibo e acqua, il trasporto, il processo di macellazione e il tempo di maturazione post mortem sono responsabili della maggior parte delle differenze nella qualità fisica, sensoriale e nutrizionale della carne⁴. La maggior parte di questi fattori, come l'età, il sesso o la genetica, sono associati a specifici metodi di allevamento.

Questo documento fornisce una panoramica sulla letteratura attualmente disponibile su argomenti relativi alla qualità della carne nella moderna produzione di polli da carne. La prima sezione affronta i fattori di impatto quali la razza (ad esempio la selezione principalmente per le caratteristiche di prestazione rispetto a varietà allevate per ottenere risultati migliori in termini di benessere) o l'ambiente di allevamento sulle caratteristiche sensoriali, la composizione nutrizionale e l'accettazione della carne di pollo da parte dei consumatori. La seconda sezione descrive le diverse miopatie che colpiscono la carne del petto dei polli da carne, il loro impatto sulla qualità della carne e la loro crescente prevalenza nei polli da carne commerciali, data la forte selezione volta a garantire in queste razze una crescita rapida, un alto rendimento della carne del petto e un peso corporeo elevato. La sezione finale sottolinea e pone in evidenza i legami tra queste miopatie del muscolo pettorale e la salute e il benessere dei polli da carne.

I. Fattori di allevamento che influenzano le caratteristiche sensoriali e la composizione nutrizionale della carne nei polli da carne

1. Genetica

Le razze più comuni di polli da carne commerciali sono state selezionate principalmente per le loro prestazioni (crescita rapida, basso Indice di Conversione Alimentare (ICA – o FCR), alto rendimento di carne bianca del petto e peso elevato alla macellazione). Tuttavia, questa selezione ha avuto conseguenze negative sulla salute e sul benessere di questi polli. Altre varietà a crescita più lenta sono state invece selezionate per ottenere risultati migliori

in termini di benessere, tra cui migliore salute delle zampe, minore mortalità, migliore funzione immunitaria, maggiore attività e migliore espressione comportamentale.

Alcune proprietà della carne sembrano avere una componente genetica (ad esempio, i filetti di pollo portatori di un certo allele (GG) presentano una tonalità più gialla⁵). Tuttavia, il confronto diretto tra la qualità della carne delle attuali varietà commerciali di polli da carne allevati per l'accrescimento rapido e quelli allevati per ottenere risultati migliori in termini di benessere è spesso confuso da molti altri fattori legati all'ambiente di allevamento. Mentre le razze a crescita rapida sono utilizzate più comunemente nella produzione industriale standard, dove sono alloggiate in grandi capannoni spogli, al chiuso, con luce artificiale e alte densità di allevamento, le razze a crescita più lenta sono più comunemente utilizzate in sistemi estensivi al coperto, all'aperto o biologici, dove in genere beneficiano di maggiori spazi, arricchimenti e accesso all'aperto, nei sistemi che lo prevedono.

Le razze a crescita lenta vengono solitamente macellate a un'età più avanzata rispetto a quelle a crescita rapida, poiché impiegano più tempo a raggiungere il peso di mercato. Questo può essere un fattore di confusione nel valutare l'effetto della razza sulla qualità della carne, poiché anche l'età dei polli influenza alcuni dei parametri della qualità della carne. Ad esempio, a una più giovane età di macellazione sono associate una diminuzione del sapore della carne e un aumento della tenerezza e della succosità⁴. Inoltre, il contenuto di pigmenti ematici nel muscolo aumenta con l'età e la carne diventa più rossa e scura⁵. Anche il contenuto di proteine, lipidi e di acidi grassi è influenzato principalmente dall'età di macellazione⁵.

La maggior parte degli studi condotti finora ha valutato congiuntamente l'impatto della razza e dell'ambiente di allevamento sulla qualità della carne dei polli, e la notevole variazione nei genotipi, nelle condizioni di stabulazione e nella gestione dei polli ha portato a risultati incoerenti e ha reso piuttosto difficile il confronto diretto dei risultati di queste ricerche. Inoltre, i risultati che analizzano le caratteristiche organolettiche e nutrizionali della carne di razze a crescita lenta variano a seconda della razza scelta, poiché la maggior parte degli studi che stabiliscono questi confronti ha utilizzato razze diverse con caratteristiche e ritmi di crescita differenti³.

Di seguito sono riportati alcuni esempi di studi che hanno confrontato razze a crescita rapida con razze a crescita più lenta, allevando entrambi i genotipi in condizioni ambientali identiche:

Il primo studio di Doğan et al.⁶ ha messo a confronto le caratteristiche fisiche della carne e la composizione della carcassa di 200 polli da carne Ross-308 a crescita rapida (tasso di crescita medio = 52,6 gr/giorno) e 200 polli da carne T2-Y2 a crescita lenta (tasso di crescita medio = 27,8 gr/giorno) quando entrambe le razze avevano lo stesso peso di mercato (2 kg). Complessivamente, i polli da carne del genotipo T2-Y2 a crescita più lenta presentavano un maggiore rendimento delle cosce e più grasso addominale, la carne del petto presentava una maggiore luminosità ed era più rossa, e valori di pH erano più bassi sia nella carne del petto che in quella delle cosce. Non sono state rilevate differenze nella

perdita di cottura della carne delle cosce e del petto tra i due genotipi, tuttavia i polli del genotipo T2-Y2 hanno mostrato una minore capacità di ritenzione idrica della carne delle cosce rispetto ai polli da carne Ross 308; ciò è dovuto a un pH del tessuto del petto più basso nel genotipo a crescita lenta.

Uno studio più recente, che ha messo a confronto la qualità della carne del petto di 20 polli a crescita rapida Ross 308 (FG), 20 polli a crescita più lenta JA 757 e 20 polli a crescita lenta a duplice attitudine ISA Dual (SG) (entrambe le razze comprendevano maschi e femmine, macellati a 2 kg di peso vivo), ha riportato che entrambe le razze a crescita più lenta presentavano un grasso addominale più elevato, un contenuto di sostanza secca e di proteine più elevato, un valore di sforzo di taglio più basso e un contenuto di grasso intramuscolare inferiore. La razza JA 757 ha riportato la capacità di ritenzione idrica più bassa dopo il congelamento, mentre la razza ISA Dual ha riportato la capacità di ritenzione idrica maggiore. Le carcasse della razza Ross 308 hanno riportato i parametri di luminosità e di giallo più elevati rispetto alle altre due⁷.

Analogamente, gli studi di Devatkal et al.⁸ hanno valutato le differenze nella qualità della carne, nella composizione e nelle preferenze dei consumatori tra una varietà Indbro a crescita lenta (tasso di crescita media = 40 gr/giorno) e una comune razza commerciale da carne (Vencobb, tasso di crescita media = 55,6 gr/giorno) con peso finale di 2,0 kg. Il rendimento di carne del petto e il rapporto carne/osso erano più elevati nella linea commerciale di polli da carne, mentre il rendimento in cottura della carne del sottocoscia e del petto non differiva significativamente tra i due genotipi. Il pH della carne del petto non è stato misurato in questo studio, tuttavia la carne della coscia della razza Indbro presentava pH, valore di sforzo di taglio e contenuto proteico più elevati rispetto ai polli Vencobb commerciali. Tuttavia, la capacità di ritenzione idrica è risultata più bassa nella coscia e sottocoscia della razza Indbro rispetto alla razza Vencobb. La carne del petto della razza Indbro presentava inoltre un contenuto di acidi grassi saturi significativamente inferiore. Inoltre, una percentuale significativa di consumatori ha mostrato di preferire la carne e i prodotti a base di carne preparati con carne di pollo Indbro a crescita lenta.

Uno studio precedente presentato da Sirri et al.⁶ ha messo a confronto gli attributi nutrizionali della carne di una razza a crescita lenta (Brown Classic Lohmann, = 18,8 gr/giorno), di una razza da carne identificata come a crescita intermedia (Naked neck Kabir, accrescimento medio giornaliero = 32,6 gr/giorno) e di una razza a crescita rapida (Cobb 700, accrescimento medio giornaliero = 64,2 gr/giorno). I risultati hanno indicato che la carne della razza ovaiole (Brown Classic Lohmann) sembra avere attributi nutrizionali "più sani" (cioè, un contenuto inferiore di lipidi nella carne, ma proporzioni più elevate di acidi grassi polinsaturi). Tali caratteristiche sono risultate più in linea con le aspettative dei consumatori per i prodotti biologici rispetto alle razze da carne con tassi di crescita intermedi (Naked neck Kabir) o rapidi (Cobb 700), anche quando tutte le razze sono state allevate in modo biologico con accesso all'aperto.

Questi studi mostrano risultati comuni, tra questi una maggiore percentuale di grasso addominale, un contenuto proteico più elevato e valori di pH più bassi nelle razze a crescita



lenta. Nonostante la difficoltà nel trarre conclusioni chiare, la FAO ha commentato nel report *"Contribution of terrestrial animal source food to healthy diets for improved nutrition and health outcomes"* (FAO, 2023) alcuni degli effetti della selezione genetica sui valori nutrizionali della carne dei polli broiler, che abbiamo riassunto nell'Allegato 1.

2. Ambiente

Ad oggi la maggior parte degli studi pubblicati ha esaminato gli effetti dell'accesso all'aperto sulla qualità della carne di pollo. Inoltre, alcuni di questi documenti hanno studiato il potenziale effetto dei posatoi, ma non di altri dispositivi di arricchimento ambientale³.

2.1 Accesso all'aperto

Una meta-analisi del 2023³ ha riferito che nella maggior parte degli studi l'accesso agli spazi aperti non ha avuto alcun effetto sul pH della carne. Inoltre, l'esame del contenuto di umidità, proteine, grassi e lipidi ha riportato risultati incoerenti. La maggior parte degli autori ha riscontrato poi un effetto nullo o positivo dell'accesso agli spazi aperti sul contenuto proteico e un effetto complessivamente positivo sulla composizione lipidica. La maggior parte degli autori ha inoltre segnalato una maggiore capacità di ritenzione idrica e una minore perdita in cottura nei polli con accesso agli spazi aperti.

Uno studio ha esaminato unicamente l'impatto dell'ambiente di allevamento⁹ ed ha riscontrato che l'accesso agli spazi aperti ha influito negativamente sul peso alla macellazione, mentre ha influito positivamente sulla qualità della carne, sul gusto e sulla composizione dei polli Sasso T451 a crescita lenta di 72 giorni rispetto ai polli della stessa razza stabulati esclusivamente al chiuso.

Per quanto riguarda le qualità organolettiche della carne, e in particolare il colore, i risultati sono contraddittori, alcuni associano l'accesso agli spazi aperti con la luminosità della carne (L^*) e l'indice di giallo (b^*), mentre non è stato riportato alcun effetto sull'indice di rosso della carne (a^*). Non sono state segnalate differenze o effetti positivi dell'accesso agli spazi aperti per quanto riguarda il gusto, l'odore e la consistenza³.



Molti studi hanno valutato l'impatto combinato sulla qualità della carne di pollo sia del genotipo che del tipo di sistema di produzione^{10,11}. Ad esempio, un'analisi su larga scala di 28 esperimenti ha messo a confronto gli effetti dell'accesso al pascolo sulla qualità della carne di 16 razze a crescita rapida, 2 a crescita media e 14 a crescita lenta¹². Ne è emerso che l'accesso al pascolo era associato a una riduzione della concentrazione di grasso nella carne di petto, coscia e sottocoscia, e a una tendenza all'aumento della concentrazione di

proteine in questi stessi tagli. Tuttavia, lo stesso studio ha anche riferito che il genotipo dei polli da carne (cioè tasso di crescita lento, medio o veloce) non era adatto, nell'ambito di questa meta-analisi, come variabile per confrontare le rese delle carcasse e la qualità della carne, a causa delle condizioni ampiamente variabili degli studi (cioè, diversa categorizzazione dei diversi tassi di crescita, diverse diete, sistemi di stabulazione, ecc.)

2.2 *Uso dei posatoi*

Nessuno degli studi inclusi nella meta-analisi del 2023³ ha riportato un effetto dei posatoi su pH, umidità o contenuto di lipidi. Per quanto riguarda le proprietà fisiche della carne, non è stato riscontrato alcun effetto su capacità di ritenzione idrica, perdita di cottura o di sgocciolamento associato alla fornitura di posatoi. Due studi hanno riportato una riduzione del colore L* in seguito alla fornitura di posatoi o posatoi raffreddati¹³.

3. **Densità di allevamento**

Una densità di allevamento più bassa è normalmente associata a una migliore qualità della carne³. Le perdite di cottura della razza Arbor Acres a crescita rapida sono risultate inferiori per densità di allevamento inferiori (8 polli/m²) o medie (14 polli/m²), rispetto a quelle superiori (18 polli/m²)¹⁴. Sono state descritte capacità di ritenzione idrica più basse nei polli Cobb a densità di allevamento inferiori (9 polli/m²), mantenute costanti durante le ultime 2 settimane di vita dei polli, rispetto a quelle superiori (18 polli/m²)¹⁵. Lo stesso studio ha inoltre riportato una luminosità del colore della carne (L*) più alta a densità più basse rispetto a quelle più alte. Gli studi di Wu et al.¹⁴ hanno riscontrato un effetto simile in densità di allevamento da 14 polli/m², rispetto a 18 polli/m².

La densità di allevamento inferiore è stata inoltre associata anche a una migliore tenerezza e succosità della carne. Questo è correlato negativamente con il grasso intramuscolare, che è risultato più basso per i polli allevati a una minore densità di allevamento¹⁶.

Nella letteratura scientifica esistono prove contrastanti sulla relazione tra il rendimento della carcassa e del muscolo pettorale e la densità di allevamento. Tuttavia, la maggior parte dei lavori ha riportato rese più elevate a densità di allevamento comprese tra 10-15 polli/m² rispetto a 16-20 polli/m²³.

II. **Miopatie del muscolo pettorale**

Negli ultimi cinquant'anni, il tempo necessario ai polli da carne per raggiungere il peso di macellazione si è ridotto di circa il 50%, con un peso finale dei polli da carne moderni di circa 2 kg a 40 giorni di età o meno¹⁷. Il peso corporeo di un moderno pollo da carne a crescita rapida (Ross 308) a 42 giorni di età è più di 4 volte superiore a quello di una delle razze più comunemente allevate negli anni Cinquanta¹⁸.



Il raggiungimento di questo rapido aumento del peso corporeo finale e del rendimento muscolare in un periodo di tempo così breve non è stato tuttavia privo di conseguenze per la salute, il benessere e la composizione della carcassa dei polli da carne commerciali¹⁹. Le razze a crescita rapida hanno mostrato tassi più elevati di scarto durante le ispezioni post mortem a causa di diversi problemi che colpiscono la carcassa, come ascite, decolorazione, cellulite e periepatite^{20,21}. In un recente studio commerciale che ha messo a confronto le carcasse non idonee al consumo di Ross 308 (FG) e JA787 (SG), i risultati hanno mostrato che la prevalenza di ascite e decolorazione erano rispettivamente 6,5 e 2 volte superiori nei polli della razza Ross 308 rispetto a quelli della razza JA787 (Figura 1)²².

Condemnation cause	Hubbard	IQR		Ross	IQR	
	Median (%)	Q1 (%)	Q3 (%)	Median (%)	Q1 (%)	Q3 (%)
Ascites	0.08	0.05	0.12	0.54	0.34	0.85
Fractures	0.03	0.01	0.05	<0.00	0.00	0.01
Peritonitis	0.03	0.01	0.06	0.12	0.07	0.21
Cardiac disease	<0.00	0.00	0.00	<0.00	0.00	0.00
Skin lesions	0.06	0.03	0.13	0.17	0.09	0.32
Arthritis	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.02
Lesions/bleeding	<0.00	0.00	0.00	<0.00	0.00	0.01
Hepatitis	0.04	0.02	0.09	0.16	0.08	0.33
Discolouration	0.12	0.07	0.19	0.21	0.11	0.40
Small	0.09	0.05	0.16	0.32	0.18	0.54
Tumours	<0.00	0.00	0.01	<0.00	0.00	0.00
Other rejects	<0.00	0.00	0.00	<0.00	0.00	0.00
Total rejects	0.56	0.42	0.77	1.96	1.48	2.67

Figura 1: Frequenza relativa delle cause di non idoneità al consumo all'interno del lotto di macellazione registrato al macello per le razze Hubbard JA787 e Ross 308 (lotti di macellazione rispettivamente n = 2436 e 1859), Forseth et al., 2023

Il problema più frequente che incide sull'integrità della carcassa dei polli da carne rimane la serie di condizioni infiammatorie che colpiscono i muscoli del petto, note come miopatie del muscolo pettorale. Si ritiene che la crescita rapida e la selezione per un più alto rendimento muscolare svolgano un ruolo centrale nel recente aumento di queste miopatie del muscolo pettorale nei moderni polli da carne, che interessano principalmente il muscolo Pectoralis major e Pectoralis minor. La pressione di selezione per garantire una crescita rapida e un alto rendimento del petto ha alterato il metabolismo e la struttura muscolare dei polli, portando a fibre muscolari più lunghe con diametri maggiori (3-5 volte più grandi), a una maggiore densità di fibre muscolari ipercontratte e a un minor numero di vasi sanguigni (capillari). Questo ha portato a una riduzione della capacità di fornire nutrienti e di rimuovere metaboliti e prodotti di scarto dal tessuto muscolare²³.

Le miopatie del muscolo pettorale si sviluppano con maggiore probabilità nei polli quando il muscolo tenta di far fronte a richieste di crescita costantemente elevate. Sebbene le miopatie del muscolo pettorale presentino cambiamenti fenotipici diversi nell'aspetto e



nella struttura del muscolo, questi sono il risultato di un'interruzione o di un malfunzionamento della struttura, del metabolismo o dei meccanismi di riparazione del tessuto muscolare del petto²⁴. Gli allegati 2 e 3 mostrano le miopatie del muscolo pettorale più comuni segnalate in polli da carne commerciali.

Le miopatie del muscolo pettorale comportano un rendimento inferiore della carcassa e la non idoneità della stessa, pertanto hanno un impatto economico significativo. Se la miopatia del muscolo pettorale è grave e accompagnata da segni infiammatori (ad esempio, emorragie petecchiali o a punta di spillo, liquido gelatinoso), le autorità di regolamentazione possono richiedere lo scarto dell'intera carcassa (Europa) o la rifilatura delle aree colpite²⁵. Nel 2020 è stato stimato che le striature bianche (*white striping*) hanno comportato una perdita di circa 1 miliardo di dollari in Nord America, a causa della diminuzione del rendimento della carne del petto (ad esempio, a causa della rifilatura o della perdita di cottura) e della perdita di valore derivante dalla carne declassata o scartata²⁴.

1. Striature bianche o *white striping*

Le striature bianche sono striature di tessuto grasso e connettivo che si inseriscono parallele alla fibra muscolare che compaiono principalmente sul lato della pelle dei filetti di petto e meno comuni nei muscoli della coscia. Le linee bianche possono variare in quantità e spessore tra i polli colpiti e interessano con maggiore frequenza l'area craniale del muscolo. Raramente si estende verso l'area caudale. Le striature bianche possono essere classificate per gravità, in base alla frequenza e allo spessore delle linee bianche²⁶ (Figura 2).

- *Fattori di rischio*

Sebbene sia stato insinuato che le striature bianche siano solo moderatamente ereditabili ($h^2 \leq 0.338$)²⁷, uno studio recente²⁸ ha dimostrato che presentano una forte base genetica in due varietà di polli da carne, selezionate in modo divergente per il pH della carne del petto. In questo studio, l'aumento dell'incidenza e della gravità delle striature bianche è stato dimostrato essere altamente correlato a pesi corporei più elevati, a rese di carne del petto e alla quantità di grasso intramuscolare nel muscolo Pectoralis major. È stato dimostrato che l'incidenza e la gravità delle striature bianche sono più elevate nelle razze con più alto rendimento di carne del petto²⁹⁻³¹. In uno studio che ha messo a confronto linee di polli da carne di razza pura con rendimento di carne del petto alto e moderato, il 49% dei polli da carne ad alto rendimento presentava un certo grado di striature bianche, diversamente dai polli a rendimento moderato, che presentavano solo il 14% di striature bianche.²⁷

- *Incidenza*

Le striature bianche sono presenti dagli anni '90, ma le segnalazioni di striature bianche nella carne di pollo sono in aumento e attualmente è la miopatia più diffusa nella carne di petto²⁵. Secondo quanto riportato, l'anomalia delle striature bianche colpisce fino al 50% dei petti di pollo in Italia, Spagna, Francia e Brasile²³, mentre una valutazione di Kuttappan



et al. ha rilevato che il 98% del petto di polli da carne di nove settimane negli Stati Uniti presentava un certo grado striature bianche²⁶.

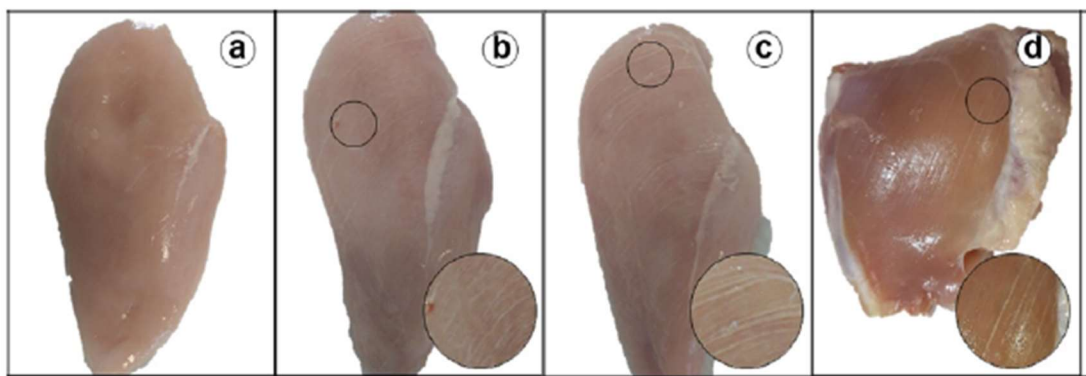


Figura 2. (a) Un petto di pollo normale senza miopatie, (b) un petto con striature bianche moderate (striature < 1 mm che coprono ampiamente la superficie muscolare), (c) un petto con striature bianche gravi (striature > 1 mm che coprono ampiamente la superficie muscolare) e (d) un muscolo della coscia con striature bianche moderate (tratto da Petracci et al., 2019).

- *Conseguenze organolettiche e nutrizionali*

Il petto di pollo con striature bianche presenta un aspetto che lo rende poco appetibile per i consumatori. È stato infatti dimostrato che l'intenzione di acquisto è più bassa nel caso di carne cruda con striature bianche rispetto a carne non colpita da questa anomalia¹⁸. Le persone che hanno partecipato allo studio, prima di essere informate sull'anomalia in questione, hanno identificato le strisce bianche come insolite per un petto di pollo. L'accettazione, da parte dei consumatori, è diminuita con la gravità delle lesioni³². I precursori del gusto umami della carne sono diminuiti in modo significativo nei petti di pollo affetti da striature bianche³³.

La carne affetta da striature bianche presenta un contenuto di grassi e un pH complessivo più elevati, mentre il contenuto di proteine è più basso. I livelli più elevati di collagene nella carne affetta da striature bianche possono renderla meno digeribile e carente di alcuni aminoacidi³⁴⁻³⁶.

2. Petto legnoso

Il petto di legno o legnoso è una sindrome caratterizzata da una carne del petto dura, gonfia e pallida, che si presenta inizialmente come una lesione lieve (spesso sulla porzione craniale del muscolo), poi si diffonde e colpisce interamente il muscolo man mano che i polli crescono (Figura 3).



Figura 3. Immagine di un muscolo pettorale senza (sinistra) e con sindrome del petto legnoso grave (destra) (Aviagen, 2019)

Visivamente, la sindrome del petto legnoso può essere caratterizzata anche da emorragie petecchiali e presentare un liquido gelatinoso sulla superficie cutanea del muscolo, tuttavia queste caratteristiche

non sono presenti in tutti i casi (Aviagen, 2019). La sindrome del petto legnoso colpisce soprattutto il muscolo pettorale maggiore, tuttavia l'indurimento può comparire anche nel muscolo Pectoralis minor²³.

I campioni di biopsia prelevati da polli da carne Cobb 500 di due settimane hanno mostrato che i polli che hanno sviluppato la sindrome del petto legnoso presentavano una disregolazione dei geni, legata allo sviluppo di disturbi metabolici nell'uomo, come il diabete. Pur essendo necessarie ulteriori ricerche, questi risultati preliminari suggeriscono che la sindrome del petto legnoso è prima di tutto un disturbo metabolico caratterizzato principalmente dall'accumulo anomalo di grasso nel muscolo Pectoralis major³⁷.

- *Fattori di rischio*

Come per le striature bianche, la selezione volta a garantire un peso corporeo maggiore e un maggiore rendimento di carne del petto sembra essere particolarmente correlata all'incidenza della sindrome del petto legnoso nelle moderne varietà di polli da carne. I polli da carne con un aumento di peso più rapido fin dall'inizio (1-2 settimane di età) hanno maggiori probabilità di sviluppare la sindrome del petto legnoso nel momento in cui si avvicinano al peso commerciabile^{38,39}. Di conseguenza, gli studi di Mailia et al.⁴⁰ hanno riscontrato che l'aumento del petto di un punto percentuale aumentava le probabilità di striature bianche e sindrome del petto legnoso grave nel muscolo pettorale della razza Ross 308 (FG) del 50,9% e del 61,0%. Inoltre, ritardare l'età di macellazione da 6 a 7 settimane è stato collegato a un rischio maggiore del 56,3% di sviluppare una forma più grave di striature bianche.

È stato suggerito che una riduzione significativa del petto di legno a livello di allevamento potrebbe essere ottenuta meglio identificando i fattori ambientali e gestionali (ad esempio, le temperature di incubazione) che contribuiscono alla sua comparsa, data la bassa ereditabilità riportata per il petto legnoso nello studio²⁷. Tuttavia, la ricerca suggerisce anche che le pratiche di gestione, come la limitazione dell'assunzione di mangime o della disponibilità di nutrienti nella dieta nei primi anni di vita, portano a una simile⁴¹ o maggiore incidenza/gravità⁴² di miopatie negli allevamenti di polli da carne al momento della macellazione.

- *Incidenza*

L'incidenza della sindrome del petto legnoso non è nota con esattezza, ma alcuni studi hanno riportato cifre che raggiungono il 38% dei polli da carne nelle razze commerciali più utilizzate⁴³, il 53,2% dei polli da carne con rendimento di carne del petto alto in un impianto di lavorazione dei polli da carne in Italia³⁹ o il 61,9% dei filetti di petto in un impianto di lavorazione cinese⁴⁴.

- *Conseguenze organolettiche e nutrizionali*



La carne che presenta la sindrome del petto legnoso è più dura da masticare. Presenta una capacità di ritenzione idrica ridotta, minore assorbimento della marinatura e una maggiore perdita di cottura²⁵.

Dal punto di vista nutrizionale, la carne affetta da sindrome del petto legnoso contiene livelli proteici inferiori ed è carente di alcuni aminoacidi essenziali, oltre a presentare un profilo minerale anomalo²⁵.

3. Spaghetti meat (separazione in fasci di fibre)

L'anomalia della carne a spaghetti, nota anche come petto filante o molliccio, è caratterizzata dalla perdita di tessuto connettivo strutturale nel muscolo Pectoralis major. Ciò comporta il distacco e la separazione delle fibre muscolari, e le singole fibre assumono il caratteristico aspetto cilindrico, lungo e sottile degli spaghetti^{23,25} (Figura 4).

- *Fattori di rischio*

Rispetto alle altre miopatie del muscolo pettorale, le segnalazioni di miopatia della carne a spaghetti nei polli da carne sono più recenti, pertanto sono in corso ricerche sui fattori causali che ne determinano lo sviluppo.

Un'ipotesi suggerisce che la selezione di polli per garantire una crescita più rapida ha contribuito alla crescente comparsa dell'anomalia della carne a spaghetti⁴⁵. I polli da carne continuano a essere macellati a età sempre più giovani e quindi sono meno maturi al momento della lavorazione. Ad esempio, gli studi di Baldi et al.⁴⁶ hanno dimostrato che la carne del petto affetta da sindrome del muscolo a spaghetti presenta un livello di reticolazione superficiale del collagene minore rispetto ai filetti normali. Questo significa che il tessuto manca di un'adeguata struttura connettiva, di conseguenza le fibre muscolari si staccano facilmente.

Nel manuale Aviagen sulle miopatie del muscolo pettorale, si ipotizza che l'accumulo di acido lattico nel tessuto muscolare dopo la morte sia legato allo sviluppo della miopatia della carne a spaghetti²⁵. Si ritiene che le condizioni di acidità prodotte dall'accumulo di acido lattico provochino diversi effetti dannosi per l'integrità strutturale del tessuto connettivo, i quali alla fine portano alla separazione dei fasci di fibre muscolari. La ricerca ha tuttavia dimostrato che la carne di petto affetta da anomalia della carne a spaghetti presenta livelli di pH più elevati rispetto ai filetti non affetti da tale sindrome. Ciò suggerisce che il tessuto affetto da anomalia della carne a spaghetti è più basico (cioè meno acido) rispetto alla carne di petto normale^{45,46}.



Figura 4. Filetto di muscolo pettorale che presenta un caso grave di miopatia del muscolo a spaghetti, come dimostrano le ampie lacerazioni superficiali. (Tratto da Baldi et al., 2021).



Nell'aumento dell'incidenza dell'anomalia della carne a spaghetti è stata implicata anche la somministrazione di un'alimentazione a base vegetale ai polli da carne, con concentrazioni insufficienti di aminoacidi (ad esempio, prolina), necessari per una corretta crescita del tessuto connettivo²⁵.

- *Incidenza*

L'incidenza della miopatia della carne a spaghetti non è chiara a causa dei diversi criteri di classificazione utilizzati dai diversi macelli, e della comorbidità tra la sindrome stessa e altre miopatie più studiate. Può tuttavia raggiungere il 20%⁴⁵. Uno studio italiano ha analizzato 16.000 petti di pollo e ha riportato una prevalenza del 21%⁴⁷, mentre uno studio brasiliano ha riscontrato che circa il 10% dei 5.580 petti di pollo esaminati era affetto da miopatia della carne a spaghetti⁴⁸.

- *Conseguenze organolettiche e nutrizionali*

La carne affetta da miopatia della carne a spaghetti può essere difficile da affettare e può presentare una consistenza più morbida dopo la cottura^{25,46}. Al momento della lavorazione, la carne di petto affetta dalla miopatia della carne a spaghetti non può essere utilizzata per prodotti che richiedono una normale integrità strutturale. I muscoli gravemente colpiti vengono normalmente declassati e incorporati nella formulazione di prodotti ulteriormente lavorati. Tuttavia, la crescente domanda da parte dei consumatori di petto di pollo tagliato a fette sottili e la comparsa della miopatia della carne a spaghetti ha messo a dura prova l'industria di trasformazione, in quanto spesso questa miopatia viene rilevata solo dopo il processo di taglio.⁴⁵

Per quanto riguarda la composizione dei nutrienti, la carne affetta da miopatia della carne a spaghetti presenta un'umidità maggiore e livelli di proteine inferiori (10% in meno) in tutto il tessuto muscolare del petto (superficiale e profondo) rispetto ai muscoli non affetti⁴⁵. La presenza di questa miopatia è associata inoltre a valori più elevati di giallo della carne e a maggiori perdite di cottura nei campioni affetti dalla miopatia della carne a spaghetti rispetto a quelli normali.⁴⁵

4. Comorbidità di spaghetti meat, striature bianche e petto legnoso

La comparsa di anomalie a carico del muscolo Pectoralis major è stata osservata e studiata per oltre dieci anni. Le alterazioni istologiche sottostanti a queste condizioni sono aspecifiche e spesso si sovrappongono⁴⁹. Ad esempio, nonostante le diverse manifestazioni fenotipiche, si è ipotizzato che le striature bianche, il petto legnoso e la carne a spaghetti abbiano caratteristiche istologiche comuni⁵⁰ (Figura 5). Di conseguenza, queste patologie spesso si presentano insieme^{34,50}. La comorbidità delle tre miopatie è stata analizzata in uno studio⁴⁹ del 2022 su 179 filetti di petto di pollo appartenenti polli di razza Ross 708 di sesso misto, di razza Cobb 500 di sesso misto e di razza Ross 708 di sesso maschile. In questo studio, le tre miopatie hanno mostrato caratteristiche istologiche simili (ossia miodegenerazione, infiammazione, accumulo interstiziale di grasso e tessuto fibroso) e una gravità sovrapponibile.



Il processo di rigenerazione che si verifica nei tessuti affetti da miopatie quali striature bianche e petto legnoso non produce nuove fibre muscolari, ma deposita grasso e tessuto connettivo all'interno del muscolo pettorale²⁵. Tutti i tessuti muscolari presentano un certo grado di degenerazione e rigenerazione. Tuttavia, nel caso delle striature bianche e del petto legnoso, sostenere una crescita costantemente elevata comporta una grande richiesta di risorse necessarie per mantenere in salute il metabolismo muscolare. Questo provoca la rottura dei tessuti e l'emorragia.


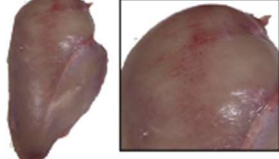

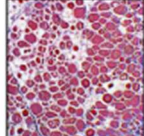
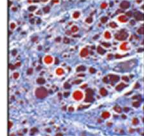
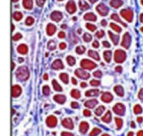
	White Striping	Wooden Breast	Spaghetti Meat
Phenotype			
Description	White striations of variable thickness running parallel to the myofiber direction	Out-bulging and pale areas having hardened consistency often exhibiting petechial hemorrhages	Loss of integrity and separation of the fiber bundles composing the tissue
Microscopic appearance			
Pathognomonic microscopic features	Increased deposition of lipid at perimysial level (lipidosis)	Proliferation of connective tissue at perimysial level up to fibrosis	Progressive rarefaction of the connective tissue composing the perimysial septa
Common histological traits	Profound modifications in the muscle architecture including the presence of fibers having rounded profile, nuclear rowing and internalization, hypercontracted fibers, degeneration up to lysis along with occasional regeneration, inflammatory cells infiltration, compromised perimysial septa		

Figura 5: Fenotipo e caratteristiche microscopiche dei muscoli Pectoralis major colpiti da striature, petto legnoso e carne a spaghetti (Tratto da Soglia et al., 2021)

- *Fattori di rischio*

Diversi studi recenti hanno riportato che il rischio di striature bianche e petto legnoso è più elevato nelle varietà ad alto rendimento della carne del petto^{51,52}. Anche la percentuale di polli che presentano una degenerazione delle fibre muscolari (caratteristica presente nel caso delle striature bianche e del petto legnoso) nei muscoli Pectoralis major aumenta con l'età⁴¹ (Figura 2). È più probabile che queste miopatie del muscolo pettorale si sviluppino (o si sviluppino più gravemente) quando il muscolo tenta di far fronte alle continue richieste di crescita, il che significa che i polli da carne cresciuti e in età avanzata, con petti più pesanti sono più colpiti da petto legnoso e striature bianche^{26,41,52}.

La ricerca ha dimostrato che l'incidenza di striature bianche²⁹ e petto legnoso³⁰ è maggiore nei polli da carne maschi rispetto alle femmine. Tuttavia, l'aumento della prevalenza è probabilmente confuso dal fatto che i maschi raggiungono in genere un peso corporeo finale più elevato³⁰. Al contrario, un altro studio ha riscontrato un'incidenza simile di



degenerazione delle fibre muscolari nel tessuto del petto di maschi e femmine prelevati da 14 a 46 giorni di età⁴¹.

- *Incidenza*

Poiché le striature bianche e il petto legnoso sono miopatie che sono state studiate per un lungo periodo di tempo, esistono numerose prove della concomitanza delle due anomalie. Ad esempio, uno studio ha dimostrato che su 2600 petti di pollo ispezionati in un impianto americano per la macellazione, il 94,2% dei muscoli del petto affetti da petto legnoso erano anche affetti da striature bianche⁵³.

- *Conseguenze organolettiche e nutrizionali*

Oltre al maggiore sforzo di taglio dei filetti di petto affetti da petto legnoso, che indica una minore tenerezza, i petti di pollo con miopatie gravi quali il petto legnoso e le striature bianche sono affetti da processi infiammatori che portano all'accumulo di liquidi (edema), che ne spiegano il maggiore contenuto di acqua rispetto ai petti di pollo normali^{19,54}, e al tempo stesso una minore capacità di ritenzione idrica (e una maggiore perdita di sgocciolamento/umidità durante la cottura). Inoltre, un pH più elevato riduce l'utilità del muscolo per un'ulteriore lavorazione^{26,30,34,35,47}. La figura 6 riassume i principali effetti combinati sulla qualità della carne delle striature bianche e del petto legnoso.

Category*	pH (at 24 h)	Drip loss (%)	PHEM scores	b* values	Fillet yield (%)	Fillet height (mm)	
						Cranial	Caudal
6 wk							
NORM (n = 28)	5.89 ^b ± 0.03	0.49 ^b ± 0.19	0.07 ^c ± 0.00	2.2 ^b ± 0.3	21.4 ^c ± 0.3	34.4 ^b ± 0.8	20.0 ^c ± 0.8
SEV-WS (n = 48)	5.96 ^{a,b} ± 0.02	0.92 ^b ± 0.15	0.83 ^b ± 0.08	3.8 ^a ± 0.2	24.4 ^b ± 0.3	43.5 ^a ± 0.6	30.0 ^b ± 0.6
SEV-WB (n = 24)	6.04 ^a ± 0.03	2.14 ^a ± 0.19	1.00 ^{a,b} ± 0.12	3.7 ^a ± 0.3	25.7 ^a ± 0.4	43.9 ^a ± 0.8	30.9 ^{a,b} ± 0.8
SEV-WS/WB (n = 39)	6.02 ^a ± 0.02	1.70 ^a ± 0.15	1.21 ^a ± 0.09	4.4 ^a ± 0.2	25.1 ^{a,b} ± 0.3	44.6 ^a ± 0.6	32.5 ^a ± 0.6
9 wk							
NORM (n = 40)	5.93 ^b ± 0.02	0.51 ^b ± 0.15	0.03 ^c ± 0.07	3.4 ^c ± 0.3	23.8 ^b ± 0.3	44.8 ^b ± 0.7	27.1 ^b ± 0.7
SEV-WS (n = 16)	5.94 ^b ± 0.04	0.45 ^b ± 0.24	0.31 ^b ± 0.12	4.7 ^b ± 0.4	24.9 ^{a,b} ± 0.4	47.1 ^{a,b} ± 1.1	28.6 ^b ± 1.1
SEV-WB (n = 12)	6.15 ^a ± 0.04	2.06 ^a ± 0.27	1.00 ^a ± 0.14	5.0 ^{a,b} ± 0.5	25.5 ^a ± 0.5	48.7 ^{a,b} ± 1.3	33.3 ^a ± 1.3
SEV-WS/WB (n = 31)	6.12 ^a ± 0.03	1.31 ^a ± 0.17	1.32 ^a ± 0.08	6.1 ^a ± 0.3	26.0 ^a ± 0.3	50.1 ^a ± 0.8	36.5 ^a ± 0.8

^{a-c}Different superscripts indicate significant ($P < 0.05$) difference within each column.

*NORM: no or mild WS (0/1) and WB (0/1); SEV-WS: severe or very severe WS (2/3) and normal or mild WB (0/1); SEV-WB: moderate or severe WB (2/3) and normal/mild WB (0/1); SEV-WS/WB: moderate or severe WS (2/3) and WB (2/3).

Figura 6. Effetto delle striature bianche e del petto legnoso su vari parametri della carcassa e della qualità della carne in polli da carne di sei e nove settimane di età provenienti da una varietà ad alto rendimento di carne del petto (tratto da Kuttappan et al, 2017).

Uno studio del 2019 ha riportato che i filetti di petto affetti da petto legnoso, striature bianche e petto legnoso/striature bianche avevano un contenuto maggiore di grasso e collagene, oltre a livelli ridotti di proteine e pigmenti eme totali³⁶. Inoltre, in una valutazione di 96 campioni di petto singolo di polli da carne maschi Ross 308, Baldi et al.³⁴ hanno riscontrato che le carni affette da miopatia della carne a spaghetti, striature bianche e striature bianche/petto legnoso presentavano contenuti di proteine e ceneri significativamente inferiori, mentre i livelli di umidità erano più elevati. Tuttavia, il contenuto di grasso del tessuto del petto è stato influenzato solo nei muscoli affetti da entrambe le miopatie (carne a spaghetti e striature bianche).



II. Miopatie che colpiscono il muscolo Pectoralis minor

1. Miopatia del muscolo pettorale profondo

Conosciuta anche come "malattia del muscolo verde", la miopatia del muscolo pettorale profondo è una malattia degenerativa del muscolo pettorale caratterizzata dalla necrosi e dall'atrofia del muscolo Pectoralis minor, che assume una colorazione verde (Figura 7). Questo muscolo è circondato da una membrana anelastica (fascia) e la sua posizione (tra lo sterno e il Pectoralis major) ne limita l'espansione durante il movimento, determinando una pressione elevata che limita il flusso sanguigno e causa la necrosi ischemica⁵⁵.



Figura 7. Petto di pollo con miopatia pettorale profonda dei muscoli Pectoralis minor (Tratto da Aviagen, 2019)

- *Fattori di rischio*

La miopatia pettorale profonda sembra essere più frequente nelle razze ad alta efficienza e ad alto rendimento muscolare⁵⁶. Bailey et al. hanno riportato nel loro studio che lo sviluppo di miopatia pettorale profonda sembra essere maggiormente influenzato da fattori ambientali che genetici in linee di polli con rendimento di carne del petto moderata e alta²⁷. Tuttavia, l'incidenza della miopatia pettorale profonda potrebbe continuare ad aumentare, dato che il rendimento della carne del petto continua a essere un obiettivo primario dell'industria e i polli da carne vengono portati a pesi di mercato più elevati⁵⁷.

L'insorgenza della miopatia pettorale profonda è innescata principalmente dall'aumento dell'attività dei polli che comporta lo sbattimento delle ali, in particolare dopo 35 giorni di età⁵⁷. In condizioni di allevamento commerciale, i polli da carne sono per lo più inattivi, quindi il muscolo pettorale e il tessuto connettivo circostante diventano relativamente anelastici a causa della mancanza di utilizzo. Tuttavia, questi polli sono maggiormente inclini a improvvisi sbattimenti delle ali quando sono spaventati, ad esempio, da attività umane, rumori inaspettati, cambiamenti di illuminazione, manipolazione durante la cattura o interruzione dell'accesso al mangime e all'acqua, che possono provocare miopatia pettorale profonda nel tessuto muscolare del petto^{58,59}. Quando si verifica un più alto rendimento di carne del petto significa che i polli da carne sono fisiologicamente e strutturalmente incapaci di far fronte all'aumento dell'attività muscolare dei muscoli pettorali (per esempio, durante un disturbo ambientale che provoca la fuga dei polli attraverso la corsa assistita dal movimento delle ali). Lo sbattere delle ali è stato utilizzato per indurre la miopatia pettorale profonda in modo sperimentale nei polli da carne Ross x Cobb 500 (FG), suggerendo che questa attività, combinata con la conformazione fisica di questi polli, aumenta il rischio di danneggiamento dei tessuti nei polli da carne ad alto rendimento⁵⁷.



- *Incidenza*

La miopatia pettorale profonda non viene rilevata fino alla fase di disossamento della linea di lavorazione, dove la miopatia pettorale profonda può rappresentare un problema significativo per la qualità della carne, in quanto i filetti affetti da questa miopatia vengono rifilati causando un rendimento inferiore della carne del petto⁶⁰. L'incidenza della miopatia pettorale profonda sembra essere inferiore a quella di altre miopatie del muscolo pettorale, con segnalazioni che vanno da <1-17% degli allevamenti^{57,59}.

- *Conseguenze organolettiche e nutrizionali*

La carne in fasi successive di miopatia pettorale profonda diventa più dura e fibrosa. Anche il colore dei filetti della carne del petto ne risente, poiché la carne diventa verde. Questo può avere un impatto economico negativo, in quanto il consumatore valuta principalmente il colore e la consistenza della carne⁶⁰.

Nei muscoli colpiti da miopatia pettorale profonda sono stati riscontrati una percentuale di umidità e una capacità di ritenzione idrica più elevate, una percentuale di proteine e ceneri più bassa e valori più elevati di lipidi (poiché le fibre danneggiate vengono sostituite dal tessuto adiposo) rispetto ai muscoli non colpiti. Inoltre, la carne colpita da miopatia pettorale profonda presenta un'alterazione della composizione del profilo degli acidi grassi, con conseguente diminuzione del valore nutrizionale⁶⁰. Anche se la miopatia pettorale profonda colpisce il Pectoralis minor, è stato riportato che, negli animali colpiti da questa miopatia anche il Pectoralis major può presentare una minore capacità di ritenzione idrica e alterazioni degenerative⁵⁸.

2. Carne pallida, soffice, essudativa (PSE):

La carne pallida, soffice ed essudativa, detta anche PSE, (Figura 8) ha di solito un valore di pH inferiore a 5,8 a causa di un rapido calo del pH post-mortem mentre la temperatura della carcassa rimane elevata, con conseguente denaturazione delle proteine miofibrillari e sarcoplasmatiche⁶¹. Esistono due tipi di carne PSE: "a rapida acidificazione", in cui il pH scende al di sotto di 6 entro 1 ora post-mortem, e le cosiddette "carni acide",

in cui il tasso di acidificazione è più o meno normale ma il pH finale è inferiore alla norma (inferiore a 5,8).

- *Fattori di rischio*

Oltre alla selezione genetica associata ai caratteri produttivi, anche i fattori gestionali hanno un ruolo importante nello sviluppo di carne del petto pallida, molle ed essudativa nei polli da carne. Diversi studi hanno collegato l'insorgenza di carne

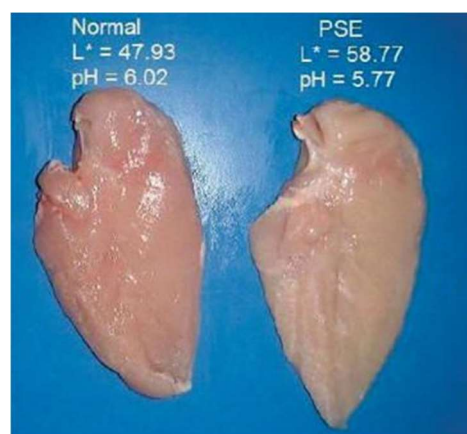


Figura 8. Filetto di petto di pollo classificato come carne normale (a sinistra) o carne pallida, soffice ed essudativa in base ai valori di pH e L* (colore) misurati 24 ore post-mortem (fonte originale: Soares, 2002; Tratto da Shimokomaki et al, 2017)



pallida, morbida ed essudativa nei polli da carne allo stress termico (temperature fredde e calde) e ad altre condizioni che contribuiscono allo stress pre-macellazione, tra cui la cattura, il posizionamento e i tempi di attesa nei contenitori di trasporto, il trasporto e lo scarico⁶². Pertanto, ridurre al minimo lo stress in questa fase finale della vita dei polli da carne commerciali, non solo garantisce maggiore benessere per i polli, ma anche una migliore qualità della carne⁶¹.

L'insorgenza di carne PSE può anche essere ridotta incorporando alti livelli di lisina nella dieta, tuttavia questo può limitare l'uso di altri aminoacidi a scopo energetico.

I polli a crescita rapida e più pesanti sono inclini a sviluppare la miopatia della carne PSE, in quanto presentano una capacità termoregolatrice ridotta²⁵. Sebbene sia possibile selezionare i polli per ottenere un alto rendimento del petto e una minore incidenza di miopatia della carne PSE (selezionando i polli che producono un pH finale della carne più elevato), ciò potrebbe involontariamente portare alla produzione di carne scura, dura e asciutta (DFD dark-firm-dry) con effetti negativi sulle caratteristiche microbiche e sensoriali (ad esempio, una minore conservabilità e una minore capacità di ritenzione idrica)²⁵.

- *Incidenza*

L'insorgenza di miopatia della carne pallida, soffice ed essudativa è stata registrata dagli anni '90. La prevalenza varia notevolmente a seconda delle condizioni ambientali, come può essere il periodo dell'anno, o di quelle associate al trasporto⁶³. Tuttavia, è stato riferito che la percentuale varia dal 2% al 20%⁶⁴, e uno studio brasiliano ha riportato che il 25%-37% dei polli da carne mostra un certo grado di miopatia della carne PSE⁶⁵.

- *Conseguenze organolettiche e nutrizionali*

La carne PSE può essere declassata durante la lavorazione a causa della perdita di sgocciolamento e del colore pallido, inoltre la capacità della carne di trattenere e di legarsi all'acqua durante la lavorazione è ridotta. I consumatori sono in grado di distinguere la carne PSE da quella normale, sia visivamente sia dal punto di vista del gusto, e preferiscono l'aspetto visivo e il sapore della carne normale⁶¹.

Rispetto alla carne normale, la carne del petto pallida ha un pH significativamente più basso, un valore di colore L* più alto, una minore capacità di assorbimento della marinatura e una minore resa di cottura. La solubilità delle proteine nei campioni affetti è risultata inferiore rispetto ai campioni normali, suggerendo una maggiore denaturazione delle proteine nella carne di petto pallida⁶⁴.

Alcune strategie di lavorazione, come l'inclusione di agenti alcalini (ad esempio, fosfati), possono aiutare a far fronte al basso pH della carne pallida, morbida ed essudativa.

3. Separazione delle fibre del muscolo Pectoralis minor

Nel 2019, uno studio italiano⁶⁶ ha descritto una nuova miopatia emergente della carne di petto (denominata anche *gaping*) in cui i fasci di fibre muscolari del Pectoralis minor



appaiono visivamente separati o strappati in uno o più punti lungo la superficie ventrale esterna (Figura 9), mostrando un aspetto simile al fenomeno di distacco dei tessuti muscolari (anch'esso denominato *gaping*) visto nei filetti di pesce.

- *Fattori di rischio*

Soglia et al.⁶⁶ hanno ipotizzato nel loro studio che il *gaping* del muscolo Pectoralis minor potrebbe derivare dalla selezione per l'alto rendimento del muscolo pettorale, che ha ridotto lo spazio all'interno della cavità toracica per lo sviluppo del muscolo Pectoralis minor, mentre il muscolo Pectoralis major diventa più grande. Inoltre, a causa della selezione per garantire una crescita rapida, i polli da carne continuano a essere macellati a età sempre più giovani. Ciò significa che il tessuto connettivo ricco di collagene all'interno e intorno al tessuto muscolare del petto non ha il tempo sufficiente per maturare, di conseguenza il muscolo Pectoralis minor è più incline a lacerarsi durante la lavorazione.

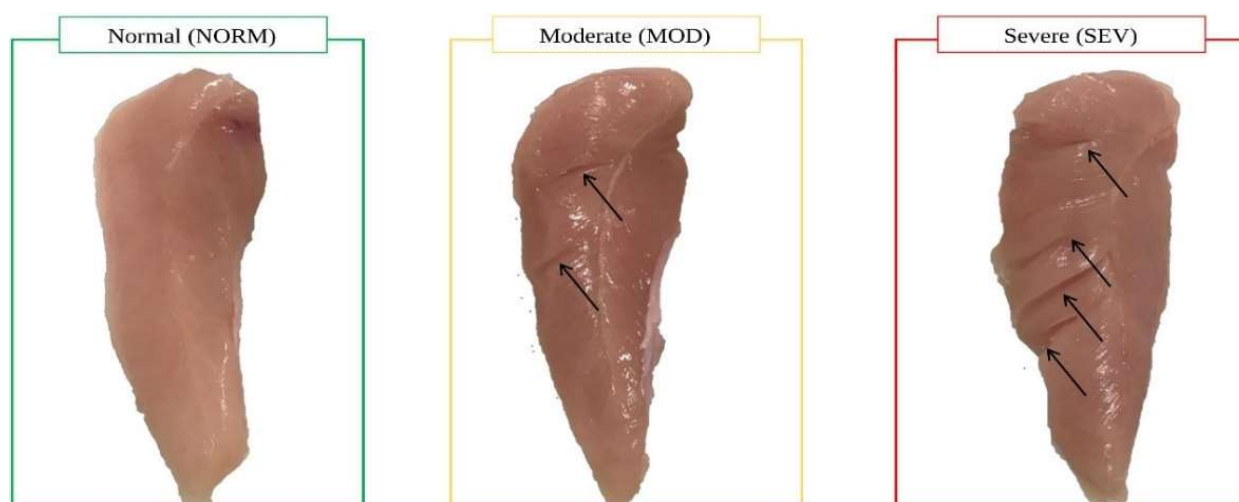


Figura 9. Criteri adottati per classificare la gravità del difetto di separazione (*gaping*) dei muscoli pettorali minori nei polli da carne (tratto da Soglia et al, 2019).

- *Incidenza*

Nel loro studio, Soglia et al. hanno selezionato in modo aleatorio 200 filetti di muscolo Pectoralis minor da 43 allevamenti commerciali. Il difetto di *gaping* è stato rilevato nel 16,8% dei filetti di muscolo Pectoralis minor, ma l'incidenza di questo difetto tra gli allevamenti è stata relativamente ampia e compresa tra il 7,5 e il 29,5%. L'aspetto alterato del muscolo Pectoralis minor affetto da *gaping* porta spesso al declassamento e i muscoli pettorali colpiti che vengono trasformati, tritati o macinati, con conseguente perdita economica⁶⁶.

- *Conseguenze organolettiche e nutrizionali*

In termini di qualità della carne, è stata osservata una riduzione del pH della carne in concomitanza con l'aumento della gravità del *gaping*. I muscoli gravemente colpiti mostravano un pH significativamente più basso rispetto ai muscoli Pectoralis minor normali

non colpiti. Il valore del pH della carne moderatamente affetta da questo fenomeno era intermedio, a metà strada tra quello del muscolo Pectoralis minor non colpito e quello gravemente colpito⁶⁶. Inoltre, i muscoli erano più leggeri, più gialli e con una minore capacità di ritenzione idrica rispetto ai muscoli non affetti. Tuttavia, non sono state riscontrate differenze significative nel contenuto nutrizionale (ad esempio, proteine, collagene, grassi, ceneri) nei muscoli normali rispetto a quelli del muscolo Pectoralis minor affetto da *gaping*. L'assenza di variazioni rilevanti nella composizione nutrizionale, insieme al pH più basso, suggerisce che il meccanismo o i meccanismi sottostanti responsabili dello sviluppo del *gaping* nel muscolo Pectoralis minor differiscono dalla comparsa di miopatia della carne a spaghetti nel muscolo Pectoralis major (cioè, pH più alto, contenuto inferiore di proteine e ceneri).

III. L'impatto delle miopatie del muscolo pettorale sul benessere

Le miopatie del muscolo pettorale sopra descritte non rappresentano solo un peggioramento della qualità della carne. Le ricerche indicano che queste condizioni comportano anche una cattiva salute e alterano il normale movimento dei polli da carne colpiti. Tuttavia, sono pochi gli studi che hanno analizzato l'impatto delle miopatie del muscolo pettorale sul benessere dei polli da carne e la maggior parte di questi si è concentrata sulla miopatia del petto legnoso.

La miopatia del petto legnoso si manifesta inizialmente come infiammazione delle fibre muscolari (miosite) e le cellule immunitarie possono essere rilevate nel muscolo entro le prime due settimane di età. L'indurimento del tessuto muscolare del petto inizia a 4 settimane di età, il che significa che i polli colpiti sperimentano un'infiammazione cronica di base settimane prima che la miopatia del petto legnoso possa essere rilevata attraverso la palpazione³⁸.

È stato inoltre dimostrato che la presenza di miopatia del petto legnoso è correlata a una maggiore incidenza di mortalità e di malattie polmonari nei polli da carne in crescita. Uno studio realizzato negli Stati Uniti del 2019, condotto da Gall et al., ha analizzato la mortalità a 40-56 giorni di età di un allevamento di 4000 polli da carne di Ross 708. Il 68% dei polli morti in quel periodo presentava sia una grave miopatia del petto legnoso che una malattia polmonare (definita dalla presenza di congestione polmonare, edema e/o polmonite), compreso in 21 di 22 polli trovati morti sul dorso⁶⁷.

Inoltre, la miopatia del petto legnoso è stata collegata anche a un'alterazione del movimento delle ali e a una minore capacità di camminare⁶⁸. Come altre specie avicole, la regione del petto dei polli da carne è composta da due muscoli. Questi muscoli sono responsabili del movimento verso l'alto e verso il basso che permette di muovere (sbattere) le ali. Mentre il muscolo Pectoralis minor è responsabile del sollevamento dell'ala durante il volo, il Pectoralis major, molto più grande e potente, è necessario per tirare il muscolo verso il basso.



In uno studio pilota su piccola scala, Kawasaki et al. hanno individuato per la prima volta che il test del contatto dorsale delle ali poteva essere utilizzato per diagnosticare la miopatia del petto legnoso nei polli da carne affetti (Figura 9). Nei polli da carne con miopatia del petto legnoso è stato riscontrato un intervallo di movimento limitato delle ali⁶⁸. Questo dato è confermato da Larsen et al. che hanno riscontrato che i polli da carne di 30 giorni con miopatia del petto legnoso avevano una mobilità alare ridotta⁶⁹.

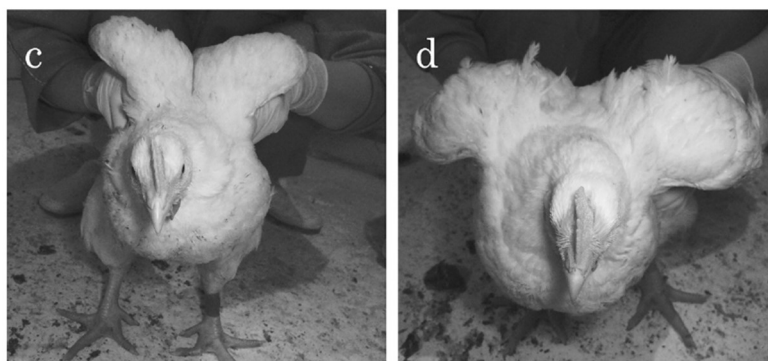


Figura 10. Test di contatto dorsale delle ali su 2 polli da carne: un volatile di controllo non affetto (c) e un volatile affetto da miopatia del petto legnoso (d), rilevato come regione del petto dura alla palpazione fisica a 43 giorni di età. Il volatile di controllo può sollevare facilmente le ali per ottenere un contatto dorsale. Il volatile affetto dalla miopatia non è in grado di sollevare le ali a sufficienza per ottenere un contatto dorsale (tratto da Kawasaki et al., 2016).

Uno studio del 2019 ha analizzato il verificarsi della posizione di “decubito dorsale” in cui i polli da carne cadevano per un motivo sconosciuto e non erano in grado di raddrizzarsi senza assistenza⁶⁷ (Figura 11). In questo studio, il 95% dei polli trovati morti in posizione di decubito dorsale era affetto sia da miopatia del petto legnoso sia da malattia polmonare, e presentava un peso maggiore rispetto a quello previsto. Gli autori hanno ipotizzato che i polli da carne affetti da miopatia del petto legnoso non sono in grado di raddrizzarsi quando si trovano sul dorso perché questa miopatia provoca uno stato di ipercontrazione costante del muscolo Pectoralis major. Questo stato di ipercontrazione costante nei polli affetti da miopatia del petto legnoso rende difficile contrarre il muscolo Pectoralis minor per sollevare le ali. Questa associazione tra decubito dorsale e miopatia del petto legnoso è stata riscontrata anche in uno studio del 2022⁷⁰



Figura 11. Un pollo da carne vivo trovato in decubito dorsale (tratto da Gall et al., 2019).

È stato dimostrato che la capacità di deambulazione dei polli da carne con miopatia del petto legnoso è significativamente ridotta in diversi momenti durante l'allevamento⁴³. Oltre ad avere un peso maggiore e una maggiore resa in carne del petto, i polli affetti da sindrome del petto legnoso si muovevano meno quando erano sdraiati. Gli autori hanno suggerito che queste differenze comportamentali potrebbero riflettere una maggiore sensibilità del tessuto muscolare del petto dei polli da carne affetti da sindrome del petto legnoso, che porta a una riduzione dei movimenti (ad esempio, spostarsi, strisciare) mentre sono sdraiati, per evitare qualsiasi disagio associato o potenziale dolore.

Sebbene nessuno studio abbia finora dimostrato in modo definitivo che le miopatie del muscolo pettorale siano dolorose, nell'uomo lesioni miodegenerative gravi, simili a quelle presenti nella miopatia del petto legnoso, provocano un forte dolore, e questo suggerisce che i polli potrebbero provare dolore o fastidio nell'area del petto⁷¹. Inoltre, l'associazione tra queste miopatie e l'infiammazione cronica dei tessuti, la riduzione della capacità fisica e l'aumento dell'incidenza di mortalità dimostrano che la presenza di queste miopatie del muscolo pettorale rappresenta un danno significativo per la salute e il benessere generale dei polli da carne colpiti.

SINTESI DELL'IMPATTO DELLE MIOPATIE DEL MUSCOLO PETTORALE SUL BENESSERE

La presenza di miopatia del petto legnoso è stata associata a:

- Infiammazione muscolare cronica
- Aumento dell'incidenza della mortalità
- Aumento dell'incidenza di malattie polmonari
- Aumento dell'incidenza della sindrome da decubito dorsale
- Ipercontrazione muscolare con conseguente compromissione del movimento delle ali
- Capacità di deambulazione ridotta

Riferimenti

1. Augère-Granier, M. L. (2019). The EU poultry meat and egg sector: Main features, challenges and prospects.
2. Ingr, I. Meat quality. Defining the term from the modern angle. Fleischwirtsch. Ger. FR (1989).
3. Marchewka, J., Sztandarski, P., Solka, M., Louton, H., Rath, K., Vogt, L., ... & Horbańczuk, J. O. (2022). Linking key husbandry factors to the intrinsic quality of broiler meat. *Poultry Science*, 102384.
4. Tougan, P. U., Dahouda, M., Salifou, C. F. A., Ahounou, S. G. A., Kpodekon, M. T., Mensah, G. A., ... & Karim, I. Y. (2013). Conversion of chicken muscle to meat and factors affecting chicken meat quality: a review. *International Journal of Agronomy and Agricultural Research*, 3(8), 1-20.
5. Baéza, E., Guillier, L., & Petracci, M. (2022). Production factors affecting poultry carcass and meat quality attributes. *Animal*, 16, 100331.
6. Sirri, F., Castellini, C., Bianchi, M., Petracci, M., Meluzzi, A., & Franchini, A. (2011). Effect of fast-, medium-and slow-growing strains on meat quality of chickens reared under the organic farming method. *Animal*, 5(2), 312-319.
7. Chodová, D., Tůmová, E., Ketta, M., & Skřivanová, V. (2021). Breast meat quality in males and females of fast-, medium-and slow-growing chickens fed diets of 2 protein levels. *Poultry Science*, 100(4), 100997.
8. Devatkal, S. K., Naveena, B. M., & Kotaiah, T. (2019). Quality, composition, and consumer evaluation of meat from slow-growing broilers relative to commercial broilers. *Poultry science*, 98(11), 6177-6186.
9. Stadig, L. M., Rodenburg, T. B., Reubens, B., Aerts, J., Duquenne, B., & Tuytens, F. A. (2016). Effects of free-range access on production parameters and meat quality, composition and taste in slow-growing broiler chickens. *Poultry Science*, 95(12), 2971-2978.
10. Mikulski, D., Celej, J., Jankowski, J., Majewska, T., & Mikulska, M. (2011). Growth performance, carcass traits and meat quality of slower-growing and fast-growing chickens raised with and without outdoor access. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 24(10), 1407-1416.
11. Cömert, M., Şayan, Y., Kirkpınar, F., Bayraktar, Ö. H., & Mert, S. (2016). Comparison of carcass characteristics, meat quality, and blood parameters of slow and fast grown female broiler chickens raised in organic or conventional production system. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 29(7), 987.
12. Sales, J. (2014). Effects of access to pasture on performance, carcass composition, and meat quality in broilers: A meta-analysis. *Poultry Science*, 93(6), 1523-1533.
13. Fidan, E. D., Kaya, M., Nazligul, A., & Türkyilmaz, M. K. (2020). The effects of perch cooling on behavior, welfare criteria, performance, and litter quality of broilers reared at high temperatures with different litter thicknesses. *Brazilian journal of poultry science*, 22.
14. Wu, Y., Wang, Y., Wu, W., Yin, D., Sun, X., Guo, X., ... & Yuan, J. (2020). Effects of nicotinamide and sodium butyrate on meat quality and muscle ubiquitination degradation genes in broilers reared at a high stocking density. *Poultry science*, 99(3), 1462-1470.

15. Goo, D., Kim, J. H., Park, G. H., Delos Reyes, J. B., & Kil, D. Y. (2019). Effect of heat stress and stocking density on growth performance, breast meat quality, and intestinal barrier function in broiler chickens. *Animals*, 9(3), 107.
16. Skřivanová, V., Tůmová, E., Englmaierová, M., Chodová, D., & Skřivan, M. (2017). Do rearing system and free-range stocking density affect meat quality of chickens fed feed mixture with rapeseed oil?. *Czech Journal of Animal Science*, 62(4), 141-149.
17. Petracci, M., Mudalal, S., Soglia, F., & Cavani, C. (2015). Meat quality in fast-growing broiler chickens. *World's Poultry Science Journal*, 71(2), 363-374.
18. De Carvalho, L. M., Ventanas, S., Olegario, L. S., Madruga, M. S., & Estévez, M. (2020). Consumers awareness of white-stripping as a chicken breast myopathy affects their purchasing decision and emotional responses. *LWT*, 131, 109809.
19. Kuttappan, V. A., Hargis, B. M., & Owens, C. M. (2016). White striping and woody breast myopathies in the modern poultry industry: a review. *Poultry Science*, 95(11), 2724-2733.
20. Rayner, A. C., Newberry, R. C., Vas, J. & Mullan, S. Slow-growing broilers are healthier and express more behavioural indicators of positive welfare. *Sci. Rep.* 10, 15151 (2020).
21. Baxter, M., Richmond, A., Lavery, U., & O'Connell, N. E. (2021). A comparison of fast growing broiler chickens with a slower-growing breed type reared on Higher Welfare commercial farms. *PloS one*, 16(11), e0259333.
22. Forseth, M., Moe, R. O., Kittelsen, K., Skjerve, E., & Toftaker, I. (2023). Comparison of carcass condemnation causes in two broiler hybrids differing in growth rates. *Scientific Reports*, 13(1), 4195.
23. Petracci, M., Soglia, F., Madruga, M., Carvalho, L., Ida, E., & Estévez, M. (2019). Wooden-breast, white striping, and spaghetti meat: causes, consequences and consumer perception of emerging broiler meat abnormalities. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 18(2), 565-583.
24. Barbut, S. (2020). Understanding the woody breast syndrome and other myopathies in modern broiler chickens. In *Australian Poultry Science Symposium*. Sydney, Australia (pp. 99-102).
25. Aviagen (2019) Breast Muscle Myopathies (BMM). In-house publication, global. Aviagen Ltd., Newbridge UK.
26. Kuttappan, V. A., Owens, C. M., Coon, C., Hargis, B. M., & Vazquez-Anon, M. (2017). Incidence of broiler breast myopathies at 2 different ages and its impact on selected raw meat quality parameters. *Poultry Science*, 96(8), 3005-3009.
27. Bailey, R. A., Watson, K. A., Bilgili, S. F., & Avendano, S. (2015). The genetic basis of pectoralis major myopathies in modern broiler chicken lines. *Poultry Science*, 94(12), 2870-2879.
28. Alnahhas, N., Berri, C., Chabault, M., Chartrin, P., Boulay, M., Bourin, M. C., & Bihan-Duval, L. (2016). Genetic parameters of white striping in relation to body weight, carcass composition, and meat quality traits in two broiler lines divergently selected for the ultimate pH of the pectoralis major muscle. *BMC genetics*, 17(1), 1-9.
29. Lorenzi, M., Mudalal, S., Cavani, C., & Petracci, M. (2014). Incidence of white striping under commercial conditions in medium and heavy broiler chickens in Italy. *Journal of Applied Poultry Research*, 23(4), 754-758.

- 30.** Trocino, A., Piccirillo, A., Birolo, M., Radaelli, G., Bertotto, D., Filiou, E., ... & Xiccato, G. (2015). Effect of genotype, gender and feed restriction on growth, meat quality and the occurrence of white striping and wooden breast in broiler chickens. *Poultry science*, 94(12), 2996-3004.
- 31.** Dixon, L. M. Slow and steady wins the race: The behaviour and welfare of commercial faster growing broiler breeds compared to a commercial slower growing breed. *PLOS ONE* 15, e0231006 (2020).
- 32.** Kuttappan, V. A., Lee, Y. S., Erf, G. F., Meullenet, J. F., McKee, S. R., & Owens, C. M. (2012). Consumer acceptance of visual appearance of broiler breast meat with varying degrees of white striping. *Poultry Science*, 91(5), 1240-1247.
- 33.** Kong, F., Bai, L., He, Z., Sun, J., Tan, X., Zhao, D., ... & Liu, R. (2023). Integrated metabolomics and lipidomics evaluate the alterations of flavor precursors in chicken breast muscle with white striping symptom. *Frontiers in Physiology*, 13, 1079667.
- 34.** Baldi, G., Soglia, F., Mazzoni, M. & Sirri, F. Implications of white striping and spaghetti meat abnormalities on meat quality and histological features in broilers. *Animal* 12, (2017)
- 35.** Petracci, M., Mudalal, S., Babini, E., & Cavani, C. (2014). Effect of white striping on chemical composition and nutritional value of chicken breast meat. *Italian Journal of Animal Science*, 13(1), 3138.
- 36.** Soglia, F., Laghi, L., Canonico, L., Cavani, C., & Petracci, M. (2016). Functional property issues in broiler breast meat related to emerging muscle abnormalities. *Food Research International*, 89, 1071-1076.
- 37.** Lake, J. A., Papah, M. B., & Abasht, B. (2019). Increased expression of lipid metabolism genes in early stages of wooden breast links myopathy of broilers to metabolic syndrome in humans. *Genes*, 10(10), 746
- 38.** Papah, M. B., Brannick, E. M., Schmidt, C. J. & Abasht, B. Evidence and role of phlebitis and lipid infiltration in the onset and pathogenesis of Wooden Breast. (2017).
- 39.** Dalle Zotte, A., Tasoniero, G., Puolanne, E., Remignon, H., Cecchinato, M., Catelli, E., & Cullere, M. (2017). Effect of " wooden breast " appearance on poultry meat quality, histological traits, and lesions characterization. *Czech Journal of Animal Science*, 62(2), 51-57.
- 40.** Malila, Y., Juthawut, U., Srimarut, Y., Chaiwiwattrakul, P., Uengwetwanit, T., Arayamethakorn, S., ... & Visessanguan, W. (2018). Monitoring of white striping and wooden breast cases and impacts on quality of breast meat collected from commercial broilers (*Gallus gallus*). *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 31(11), 1807.
- 41.** Radaelli, G., Piccirillo, A., Birolo, M., Bertotto, D., Gratta, F., Ballarin, C., ... & Trocino, A. (2017). Effect of age on the occurrence of muscle fiber degeneration associated with myopathies in broiler chickens submitted to feed restriction. *Poultry Science*, 96(2), 309-319.
- 42.** Meloche, K. J., Fancher, B. I., Emmerson, D. A., Bilgili, S. F., & Dozier III, W. A. (2018). Effects of reduced dietary energy and amino acid density on Pectoralis major myopathies in broiler chickens at 36 and 49 days of age. *Poultry science*, 97(5), 1794-1807.




- 43.** Norring, M., Valros, A., Valaja, J., Sihvo, H. K., Immonen, K., & Puolanne, E. (2019). Wooden breast myopathy links with poorer gait in broiler chickens. *Animal*, 13(8), 1690-1695.
- 44.** Xing, T., Zhao, X., Zhang, L., Li, J. L., Zhou, G. H., Xu, X. L., & Gao, F. (2020). Characteristics and incidence of broiler chicken wooden breast meat under commercial conditions in China. *Poultry Science*, 99(1), 620-628.
- 45.** Baldi, G., Soglia, F., & Petracci, M. (2021). Spaghetti meat abnormality in broilers: current understanding and future research directions. *Frontiers in Physiology*, 12, 684497.
- 46.** Baldi, G., Soglia, F., Laghi, L., Tappi, S., Rocculi, P., Tavaniello, S., ... & Petracci, M. (2019). Comparison of quality traits among breast meat affected by current muscle abnormalities. *Food Research International*, 115, 369-376
- 47.** Baldi, G., Soglia, F., & Petracci, M. (2020). Current status of poultry meat abnormalities. *Meat and Muscle Biology*, 4(2).
- 48.** Montagna, F. S., Garcia, G., Nääs, I. D. A., Lima, N. D. D. S., & Caldara, F. R. (2019). Practical assessment of spaghetti breast in diverse genetic strain broilers reared under different environments. *Brazilian Journal of Poultry Science*, 21.
- 49.** Che, S., Wang, C., Iverson, M., Varga, C., Barbut, S., Bienzle, D., & Susta, L. (2022). Characteristics of broiler chicken breast myopathies (spaghetti meat, woody breast, white striping) in Ontario, Canada. *Poultry science*, 101(4), 101747.
- 50.** Soglia, F., Petracci, M., Davoli, R., & Zappaterra, M. (2021). A critical review of the mechanisms involved in the occurrence of growth-related abnormalities affecting broiler chicken breast muscles. *Poultry Science*, 100(6), 101180.
- 51.** Aguirre, M. E., Leyva-Jimenez, H., Travis, R., Lee, J. T., Athrey, G., & Alvarado, C. Z. (2020). Evaluation of growth production factors as predictors of the incidence and severity of white striping and woody breast in broiler chickens. *Poultry science*, 99(7), 3723-3732.
- 52.** Santos, M. N., Rothschild, D., Widowski, T. M., Barbut, S., Kiarie, E. G., Mandell, I., ... & Torrey, S. (2021). In pursuit of a better broiler: carcass traits and muscle myopathies in conventional and slower-growing strains of broiler chickens. *Poultry Science*, 100(9), 101309.
- 53.** Bowker, B., Zhuang, H., Yoon, S. C., Tasoniero, G., & Lawrence, K. (2019). Relationships between attributes of woody breast and white striping myopathies in commercially processed broiler breast meat. *Journal of Applied Poultry Research*, 28(2), 490-496.
- 54.** Dalle Zotte, A., Ricci, R., Cullere, M., Serva, L., Tenti, S., & Marchesini, G. (2020). Research Note: Effect of chicken genotype and white striping–wooden breast condition on breast meat proximate composition and amino acid profile. *Poultry Science*, 99(3), 1797-1803.
- 55.** Lien, R. J., Bilgili, S. F., Hess, J. B., & Joiner, K. S. (2012). Induction of deep pectoral myopathy in broiler chickens via encouraged wing flapping. *Journal of Applied Poultry Research*, 21(3), 556-562.
- 56.** Stangierski, J., Tomaszewska-Gras, J., Baranowska, H. M., Krzywdzińska-Bartkowiak, M. & Konieczny, P. The effect of deep pectoral myopathy on the properties of broiler chicken muscles characterised by selected instrumental techniques. *Eur. Food Res. Technol.* 245, 459–467 (2019).

57. Lien, R.J., Bilgili, S.F., Hess, J.B., Joiner, K.S. (2011) Finding answers to 'green muscle disease'. Watt AgNet. <https://www.wattagnet.com/articles/8761-finding-answers-to-green-muscle-disease>
58. Yalcin, S., Şahin, K., Tuzcu, M., Bilgen, G., Özkan, S., Izzetoğlu, G. T., & Işık, R. (2019). Muscle structure and gene expression in pectoralis major muscle in response to deep pectoral myopathy induction in fast-and slow-growing commercial broilers. *British poultry science*, 60(3), 195-201.
59. Huang, X. & Ahn, D. U. REVIEW The Incidence of Muscle Abnormalities in Broiler Breast Meat – A Review. 38, (2018).
60. Giampietro-Ganeco, A., Owens, C. M. & Borba, H. Impact of deep pectoral myopathy on chemical composition and quality parameters of chicken breast fillet. *Poult. Sci.* 100, 101377 (2021).
61. Droval, A. A., Benassi, V. T., Rossa, A., Prudencio, S. H., Paião, F. G., & Shimokomaki, M. (2012). Consumer attitudes and preferences regarding pale, soft, and exudative broiler breast meat. *Journal of Applied Poultry Research*, 21(3), 502-507.
62. Wang, X., Li, J., Cong, J., Chen, X., Zhu, X., Zhang, L., ... & Zhou, G. (2017). Preslaughter transport effect on broiler meat quality and post-mortem glycolysis metabolism of muscles with different fiber types. *Journal of agricultural and food chemistry*, 65(47), 10310-10316.
63. BARBUT, S. (1998). Estimating the magnitude of the PSE problem in poultry. *Journal of Muscle Foods*, 9(1), 35-49.
64. Van Laack, R. L. J. M., Liu, C. H., Smith, M. O., & Loveday, H. D. (2000). Characteristics of pale, soft, exudative broiler breast meat. *Poultry Science*, 79(7), 1057-1061.
65. Carvalho, R. H., Soares, A. L., Grespan, M., Spurio, R. S., Coró, F. A. G., Oba, A., & Shimokomaki, M. (2015). The effects of the dark house system on growth, performance and meat quality of broiler chicken. *Animal Science Journal*, 86(2), 189-193.
66. Soglia, F., Mazzoni, M., & Petracci, M. (2019). Spotlight on avian pathology: current growth-related breast meat abnormalities in broilers. *Avian Pathology*, 48(1), 1-3.
67. Gall, S., Suyemoto, M. M., Sather, H. M., Sharpton, A. R., Barnes, H. J., & Borst, L. B. (2019). Wooden breast in commercial broilers associated with mortality, dorsal recumbency, and pulmonary disease. *Avian Diseases*, 63(3), 514-519.
68. Kawasaki, T., Yoshida, T., & Watanabe, T. (2016). Simple method for screening the affected birds with remarkably hardened pectoralis major muscles among broiler chickens. *The Journal of Poultry Science*, 53(4), 291-297.
69. Larsen, H. D., Blaabjerg, L. O., Brandt, P., Young, J. F., Rasmussen, M. K., Pedersen, J. R., & Brandborg, D. N. (2016, September). The occurrence of wooden breast in a danish flock of broiler chickens. In *Proceedings of the XXV World's Poultry Congress (WPC2016)*, Beijing, China (pp. 5-9).
70. Che, S., Weber, L., Novy, A., Barbut, S., & Susta, L. (2023). Characterization of dorsal recumbency syndrome associated with woody breast in broiler flocks from Ontario, Canada. *Poultry Science*, 102(2), 102307.
71. Baltic, M., Rajcic, A., Lau danovic, M., Nesic, S., Baltic, T., Ciric, J., & Lazic, I. B. (2019, September). Wooden breast—a novel myopathy recognized in broiler chickens. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 333, No. 1, p. 012037). IOP Publishing.


ALLEGATO 1: Fattori che influenzano il valore nutrizionale della carne di pollo (in base alla FAO, 2023)


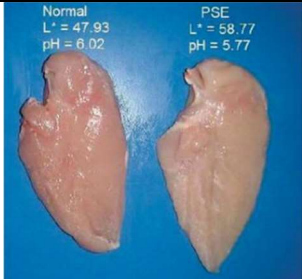
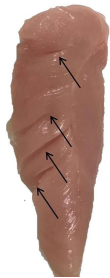
Grasso e acidi grassi	Genetica	◦Gli ibridi commerciali con tassi di crescita più lenti hanno in genere un contenuto di grasso più elevato rispetto ai genotipi incrociati a crescita rapida e hanno un contenuto più elevato di PUFA (acidi grassi polinsaturi) totali nella carne.	Baéza, Guillier e Petracci, 2021; Mahiza, Lokman e Ibitoye, 2021
		◦La selezione genetica per promuovere l'aumento di peso e la produttività aumenta il contenuto di grassi e diminuisce il contenuto di omega-3 DHA della carne di pollo.	Wang et al. (2010)
		◦Il contenuto di lipidi nei polli indigeni di razza pura è circa un terzo rispetto a quello dei polli ibridi. In questi polli di razza pura sono stati riscontrati livelli più elevati di ossidazione dei lipidi e delle proteine (che ne riducono la biodisponibilità).	Dalle Zotte et al., 2020
	Dieta	◦L'aumento del contenuto lipidico del mangime e la diminuzione del rapporto energia/proteine portano a un aumento del contenuto lipidico intramuscolare. ◦Una dieta ricca di acidi grassi saturi (ad esempio, olio di palma e di copra) aumenta la percentuale di SFA. L'olio ad alta densità di PUFA proveniente da animali marini aumenta le proporzioni di PUFA omega-3 a catena lunga.	Baéza, E., Guillier, L., e Petracci, M. (2021)
	Metodi di allevamento	◦Il confinamento degli animali al chiuso con accesso libero a mangimi ad alto contenuto energetico e l'uso di promotori della crescita portano a un maggiore contenuto di grasso. ◦Una minore densità di allevamento riduce il contenuto di grasso intramuscolare.	Marchewka et al. 20239
Proteine e aminoacidi	Genetica	◦Un contenuto proteico significativamente inferiore (3-14% in meno) può essere trovato in una varietà ad alta resa del petto rispetto a un ibrido a resa del petto standard. ◦Contenuto proteico più elevato nei polli indigeni.	Dalle Zotte et al., 2020; Petracci et al., 2013
		◦La diminuzione dell'età di macellazione dovuta alla selezione genetica per il tasso di crescita porta a un aumento del rapporto umidità/proteine.	Baéza et al., 20214
		I difetti qualitativi come le striature bianche o il petto legnoso sono associati a una diminuzione del 7-18% del contenuto di proteine muscolari e a un aumento fino all'11% del contenuto di collagene con la selezione genetica per il tasso di crescita nei polli da carne.	Baéza, Guillier e Petracci, 2021
Capacità di ritenzione idrica	Genetica	◦La diminuzione dell'età di macellazione dovuta alla selezione genetica per il tasso di crescita porta a un aumento del rapporto umidità/proteine.	Baéza et al., 2021
	Metodi di allevamento	◦Una minore densità di allevamento riduce le perdite di cottura e di sgocciolamento. ◦L'accesso all'esterno aumenta la capacità di ritenzione idrica e riduce le perdite di cottura.	Marchewka et al. 2023
Vitamine	Metodi di allevamento	◦L'allevamento all'aperto aumenta il contenuto di vitamina E.	Baéza, Guillier e Petracci,


ALLEGATO 2: Sintesi delle più comuni miopatie del muscolo pettorale che colpiscono il muscolo Pectoralis major nei polli da carne.

Condizione	Aspetto	Descrizione	Istologia patologica	Fattori di rischio	Alterazioni organolettiche	Alterazioni nutrizionali
Striature bianche		◦Infiltrazione di striature bianche di grasso e tessuto connettivo parallele alla fibra muscolare sul lato della pelle	◦Necrosi e lisi delle fibre muscolari ◦Lipidosi ◦Degenerazione vascolare	◦Aumento del peso corporeo ◦Resa di carne del petto	◦Visivamente sgradevole ◦Diminuzione dei precursori del gusto umami	◦Contenuto di grassi più elevato ◦Basso contenuto di proteine ◦pH più alto ◦Contenuto di collagene più elevato ◦Carenza di alcuni aminoacidi
Petto legnoso		◦Carne del petto dura, rigonfia e pallida ◦Talvolta presenta emorragie petecchiali e liquido gelatinoso sulla pelle.	◦Infiltrazione localizzata di cellule immunitarie ◦Vasculite ◦Infiammazione e degenerazione delle fibre muscolari ◦Fibra muscolare sostituita da tessuto adiposo e connettivo	◦Aumento del peso corporeo ◦Resa di carne del petto	◦Capacità di ritenzione idrica ridotta ◦Ridotto assorbimento della marinata ◦Perdita di sgocciolamento maggiore ◦Perdita di cottura maggiore	◦Riduzione dei livelli di proteine ◦Carenza di alcuni aminoacidi essenziali ◦Profilo minerale anormale
Carne a spaghetti (separazione in fasci di fibre)		◦Distacco e separazione delle fibre muscolari ◦Le singole fibre muscolari assomigliano a spaghetti	◦Perdita di tessuto connettivo strutturale ◦Degenerazione e rigenerazione dei tessuti ◦Alcune fibre muscolari appaiono ipercontratte	◦Razze a crescita rapida ◦Diete a base vegetale	◦Difficile da affettare e di consistenza più morbida dopo la cottura ◦Integrità anormale con conseguente declassamento ◦Maggiore ingiallimento della carne ◦Maggiore umidità ◦Perdite di sgocciolamento e di cottura più elevate	◦Riduzione dei livelli di proteine



ALLEGATO 3: Sintesi delle più comuni miopatie del muscolo pettorale che colpiscono il muscolo Pectoralis minor nei polli da carne.

Condizione	Aspetto	Descrizione	Istologia patologica	Fattori di rischio	Alterazioni organolettiche	Alterazioni nutrizionali
Miopatia del muscolo pettorale profondo		◦Malattia degenerativa del muscolo del petto, con conseguente emorragia e decolorazione verde	◦Caratterizzata da necrosi e atrofia del muscolo	◦Aumento del peso corporeo ◦Resa di carne del petto	◦Carne più dura e più fibrosa ◦Percentuale di umidità più elevata ◦Maggiore capacità di trattenere l'acqua	◦Diminuzione della percentuale di proteine e ceneri ◦Valori più alti di lipidi ◦Profilo degli acidi grassi alterato
Carne pallida, morbida, essudativa		◦La carne pallida è il risultato della denaturazione delle proteine, dovuta all'improvviso abbassamento del pH quando la carcassa è ancora calda	◦Denaturazione delle proteine miofibrillari e sarcoplasmatiche	◦Stress termico ◦Stress durante il trasporto e la macellazione	◦Colore pallido ◦Meno tenera e succosa della normale carne di petto ◦pH più basso ◦Valore L* del colore più alto ◦Perdita di liquido più elevata ◦Minore assorbimento della marinata ◦Resa di cottura inferiore	◦Riduzione dei livelli di proteine
Separazione delle fibre del muscolo Pectoralis minor		◦I fasci di fibre muscolari appaiono visivamente separati (o strappati) tra loro in uno o più punti della superficie ventrale esterna	◦Il tessuto connettivo ricco di collagene all'interno e intorno al tessuto muscolare del petto non ha il tempo sufficiente per maturare, quindi il muscolo P. minor è più soggetto a lacerazioni durante la lavorazione	◦Elevata resa del muscolo pettorale ◦Macellazione in giovane età	◦pH ridotto ◦Muscolo più leggero ◦Colore giallo più intenso ◦Capacità di ritenzione idrica ridotta	◦Non sono state riscontrate differenze nel contenuto nutrizionale (ad esempio, proteine, collagene, grassi, ceneri)