

Alma Mater Studiorum
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA – CAMPUS DI CESENA

**SCUOLA DI AGRARIA E MEDICINA VETERINARIA
CORSO DI LAUREA MAGISTRALE
IN SCIENZE E TECNOLOGIE ALIMENTARI**

**CARATTERIZZAZIONE
QUALITATIVA DI PETTI DI POLLO
CON ANOMALIE “WHITE
STRIPING” E DI
DESTRUTTURAZIONE**

Tesi in:

Innovazioni nella filiera dei prodotti carnei e ovoprodotti
(Innovazioni e sicurezza dei prodotti di origine animale c.i.)

Relatore:
Prof. Massimiliano Petracci

Presentata da:
Paola Angélica Gamón Ubeda

Correlatori:
Dott.ssa Francesca Soglia
Dott. Luca Laghi

Sessione I
Anno Accademico 2015/2016

AGRADECIMIENTOS

A DIOS,

Por tantas bendiciones y oportunidades.

A mis abuelos, ángeles

Que me iluminan y protegen desde el cielo.

A mis padres. A mis hermanos, primos, a toda mi familia.

Quienes sembraron en mí el espíritu luchador y apoyaron siempre.

A mi Supervisora de Tesis, Dott.ssa Francesca Soglia,

Por su apoyo constante, tiempo y paciencia, para que este trabajo pudiera ser posible.

A mi Tutor de Tesis, Prof. Massimiliano Petracchi,

Por las orientaciones dadas.

A todas las personas que gentilmente me apoyaron.

Al proyecto Erasmus Mundus,

Por permitir que tantos jóvenes podamos cumplir sueños, desafíos y metas, que nos lleven a la construcción de una sociedad mejor y un mundo más estrecho.

A la prestigiosa Universidad de Bologna,

Por hospedarme y abrirme las puertas a un mundo nuevo de conocimientos.

A la Facultad de Ciencias y Tecnología y a la Universidad Nacional de Itapúa,

Por su decisión por apostar por la educación.

Dios los bendiga!

INDICE

CAPITOLO 1

SELEZIONE GENETICA E ANOMALIE DELLE CARNI

1.1 Il miglioramento genetico del pollo da carne	5
1.2 La selezione genetica: Effetti positivi	6
1.3 La selezione genetica: Principali anomalie	8
1.3.1 Anomalia del Muscolo Pettorale Profondo.....	8
1.3.2 Colorazioni anomale	9
1.3.3 Carni PSE- <i>like</i> e DFD	10
1.3.4 Anomalie emergenti.....	14
1.3.4.1 White-stripping	16
1.3.4.2 Wooden breast	18
1.4 Effetto delle anomalie muscolari sulla qualità della carne	19
1.4.1 Valore nutrizionale.....	19
1.4.2 Proprietà tecnologiche e sensoriale.....	20
1.4.3 Shelf-life microbiologica	21

CAPITOLO 2

LA SPERIMENTAZIONE

2.1 Argomento di studio e scopo della ricerca	23
--	-----------

2.2 Materiali e Metodi	24
2.2.1 Raccolta dei campioni.....	24
2.2.2 Determinazione del peso e delle dimensioni	27
2.2.3 Determinazione del colore	28
2.2.4 Determinazione del pH	29
2.2.5 Determinazione della composizione centesimale	30
2.2.5.1 Umidità.....	30
2.2.5.2 Proteine	31
2.2.5.3 Lipidi	32
2.2.5.4 Ceneri	34
2.2.5.5 Collagene	34
2.2.6 Analisi mediante spettrometro LF-NMR.....	35
2.2.7 Elaborazione statistica	36
2.3 Risultati e Discussione	37
2.3.1 Misure morfometriche.....	37
2.3.2 Effetto della posizione di campionamento su pH, colore e composizione della carne	38
2.3.3 Effetto delle anomalie su pH e colore della carne	40
2.3.4 Effetto delle anomalie sulla composizione della carne..	42
2.3.5 Proprietà rilassometriche	43
2.4 Conclusioni	47
BIBLIOGRAFIA	49

CAPITOLO 1

SELEZIONE GENETICA E ANOMALIE DELLE CARNI

1.1 Il miglioramento genetico del pollo da carne

Nel corso degli ultimi decenni, i criteri di selezione per i polli da carne hanno subito un adattamento per rispondere all'aumento della popolazione mondiale e all'evoluzione nella domanda di mercato per la carne di pollo . Ad esempio, come è possibile osservare nella tabella sottostante (Tabella 1.1), prima della seconda guerra mondiale erano commercializzate principalmente sotto forma di pollame vivo, pertanto, la selezione degli animali veniva realizzata in funzione delle caratteristiche e delle performance in vivo.

Tabella 1.1 Relazioni tra l'evoluzione delle forme di marketing, i criteri di selezione di polli da carne di pollo e comparsa di anomalie del petto di pollo.

	Anno				
	1940	1960	1980	1995	2010
Principale forma di commercializzazione	-Animale vivo	-Carcassa intera	-Sezionati	-Sezionati e Trasformati	-Sezionati e Trasformati
Criteri di selezione	-Prestazioni in vivo	-Prestazioni in vivo -Resa in carcassa	-Prestazioni in vivo -Resa in carcassa -Resa in tagli	-Prestazioni in vivo -Resa in carcassa -Resa in tagli -Resa in carne	-Prestazioni in vivo -Resa in carcassa -Resa in tagli -Resa in carne
Anomalie delle Carni			-Anomalia del Muscolo Pettorale Profondo	-Anomalia del Muscolo Pettorale Profondo -Tipo PSE	-Anomalia del Muscolo Pettorale Profondo -Tipo PSE -White Striping -Wooden Breast

Successivamente, dal momento che il pollame veniva venduto sotto forma di carcasse preparate in piccoli mercati e negozi di alimentari nelle città e paesi, la selezione degli animali si è basata sulla resa in carcassa. Circa 40 anni fa, l'aumentato interesse del mercato verso i prodotti sezionati ha indirizzato i criteri di selezione verso le rese nei principali tagli anatomici come il petto e coscia. Infine, l'aumentata domanda di prodotti trasformati registrata nel corso degli ultimi due decenni nei paesi occidentali, associata ad un incremento nei consumi di carni avicole, ha determinato uno spostamento della selezione verso animali ad elevata resa in petto (Fletcher, 2004).

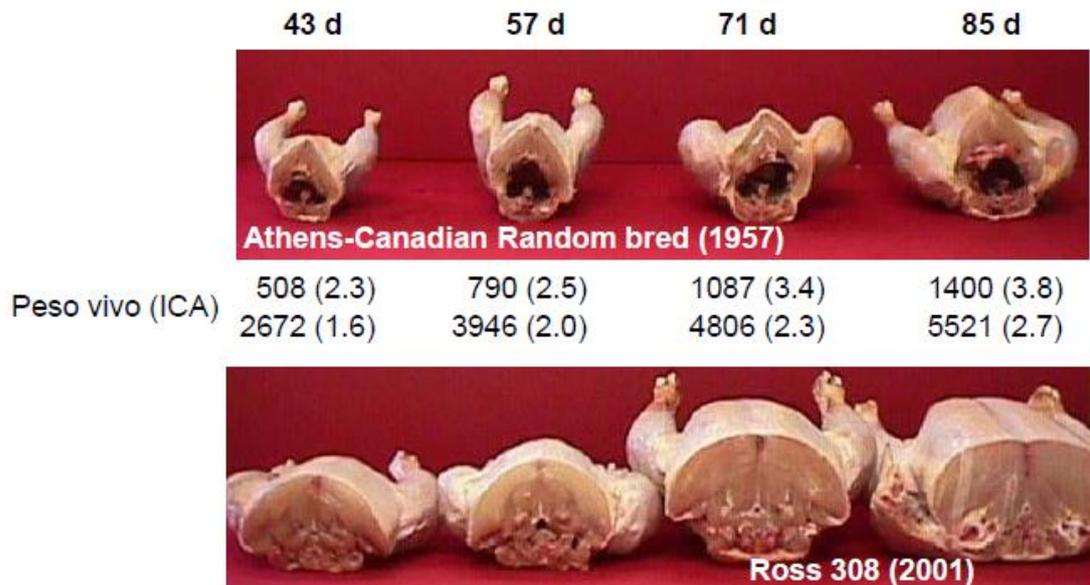
Le principali motivazioni alla base dell'incremento osservato nella domanda di prodotti avicoli sono riconducibili a: i) il profilo nutrizionale caratterizzato da un elevato contenuto di proteine di elevato valore biologico, un ridotto contenuto di grassi caratterizzato da un rapporto bilanciato fra PUFA n-6/n-3; ii) l'attitudine alla trasformazione sia a livello casalingo che industriale; e iii) i costi ridotti se paragonati alle carni rosse (Petracci *et al.*, 2013).

Di conseguenza, per soddisfare le richieste di un mercato in rapida espansione, l'industria avicola ha indirizzato la selezione degli animali verso ibridi commerciali caratterizzati da una rapida velocità di accrescimento e rese in petto elevate da destinare alla produzione di trasformati (Brewer *et al.*, 2012). In questo contesto, tuttavia, le problematiche inerenti la qualità della materia prima carnea hanno assunto una importanza superiore rispetto al momento in cui il pollame veniva commercializzato nella forma di pollo intero (Barbut *et al.*, 2008).

1.2 La selezione genetica: effetti positivi

La figura sottostante (Figura 1.1) mostra come la selezione genetica realizzata nel corso degli ultimi 50 anni ha consentito di ridurre della metà (a circa 40 giorni o meno) il tempo di crescita necessario al raggiungimento di un peso di mercato pari a circa 2 kg (Havenstein *et al.*, 2003a; Aviagen, 2007; 2012). Inoltre, nel corso degli ultimi 10 anni è stato riscontrato un aumento del

5% delle rese in petto, taglio anatomico che rappresenta più di un quinto del peso dell'animale (Aviagen, 2012).



Fonte: G.B. Havenstein (2003) – *Lohaman Information*, 41/2006

Figura 1.1 Confronto fra genotipi commerciali impiegati per l'allevamento del broiler nel 1957 e nel 2001.

Questo sostanziale miglioramento nelle rese dei principali tagli anatomici è stato ottenuto mediante l'induzione di ipertrofia nelle fibre muscolari esistenti e, in misura minore, di iperplasia dal momento che il numero di fibre è geneticamente determinato alla nascita. Inoltre, se confrontati agli animali non selezionati, gli ibridi moderni sono caratterizzati da una maggiore quantità di fibre a rapida contrazione (fibre di tipo IIB, a metabolismo glicolitico) con un diametro superiore ed un più basso tasso di degradazione delle proteine *post-mortem* (Mahon, 1999; Schreurs, 2000; Picard *et al.*, 2002; Scheuermann *et al.*, 2004; Branciarri *et al.*, 2009). Tuttavia, all'aumento del diametro delle fibre è associato un più ridotto livello di capillarizzazione a cui consegue sia un più scarso apporto d'ossigeno e sostanze nutritive sia un'inadeguata eliminazione dei prodotti di scarto del metabolismo cellulare che possono comprometterne la funzionalità. Inoltre, è stato riscontrato come l'incremento della concentrazione di calcio osservata negli ibridi selezionati per un'elevata resa in petto possa determinare

l'attivazione di alcuni enzimi lipolitici e proteolitici con conseguenti disfunzioni nel sarcolemma e l'aumento della concentrazione di alcuni enzimi a livello plasmatico, fra i quali la creatina chinasi e lattato deidrogenasi (Mitchell, 1999; Sandercock e Mitchell, 2003; MacRae *et al.*, 2006).

1.3 La selezione genetica: principali anomalie

1.3.1 Anomalia del muscolo pettorale profondo

Conosciuta anche con il termine di *Oregon disease*, o *Green Muscle disease* (GMD), è stata osservata per la prima volta nei boiler selezionati per un tasso di crescita elevato circa 30 anni fa (Siller, 1985). Al giorno d'oggi, con un tasso di incidenza compreso fra lo 0,02% e l'1,9%, l'anomalia GMD è ancora rilevante nei broiler (Kijowski *et al.*, 2014). In particolare, studi recenti hanno dimostrato come l'incidenza sia maggiore nei polli allevati per la produzione di carne (che presentano un tasso di crescita più elevato) maschi rispetto alle femmine (Lien *et al.*, 2011).

Nello stadio iniziale dell'insorgenza dell'anomalia, i muscoli *Pectoralis minor* sono caratterizzati da una lesione bruno-rossastra che, in uno stadio più avanzato, assume gradualmente colorazione verde. Dal punto di vista del consumatore, la presenza dell'anomalia GMD non costituisce una problematica di natura sanitaria ma può determinare un rifiuto del prodotto nel momento in cui a livello del punto vendita la carcassa intera viene sezionata e porzionata determinando così perdite economiche derivanti dal declassamento (Petracci *et al.*, 2015).

L'instaurarsi della GMD appare certamente correlata all'enorme sviluppo dei muscoli pettorali che si verifica negli ibridi commerciali moderni contestualmente alla ridotta attività nel corso dell'allevamento. Infatti, essendo confinati all'interno di un compartimento anelastico, se sollecitati (ad esempio per via di uno sbattimento energetico delle ali) i muscoli *Pectoralis minor* risultano schiacciati dal *major* sovrastante che ne riduce l'apporto di ossigeno determinando dapprima un fenomeno di anossia e successivamente necrosi del tessuto (Siller, 1985). Recentemente, in uno studio condotto da Lien *et al.*

(2012) è stato osservato come l'anomalia si manifesti a partire dai 26 e 36 giorni di età nei broiler maschi e nelle femmine. I principali fattori scatenanti sono rappresentati da un aumento nell'attività negli animali (sbattimento delle ali) indotto da diversi fattori: mancanza di cibo o acqua, sbalzi di illuminazione, attività umane e rumori eccessivi dentro e intorno ai capannoni.

1.3.2 Colorazioni anomale

Tra tutti gli attributi di qualità, l'aspetto rappresenta uno dei fattori più rilevanti per la selezione di molti prodotti alimentari, tra cui anche la carne avicola. Uno dei principali fattori che contribuiscono a determinare l'aspetto della carne è il colore che gioca un ruolo chiave sia al momento della vendita delle carni crude sia nella definizione della gradevolezza di molti prodotti cotti. Infatti, un colore rosa o rosso nelle carni avicole cotte viene generalmente associata ad una cottura incompleta ed è quindi altamente indesiderabile. Allo stesso modo, essendo associata a cottura previo congelamento, la presenza di inscurimenti nelle ossa dei prodotti cotti viene considerata un difetto (Fletcher, 2002).

Altri difetti visivi riscontrabili sono associati alla presenza di ematomi ed emorragie. I moderni ibridi selezionati per una velocità di crescita elevata sono molto suscettibili a sviluppare ematomi ed emorragie a causa delle dimensioni corporee e della maggiore fragilità dello scheletro che li caratterizza. In particolare, circa il 90-95% degli ematomi riscontrati nei broiler si originano nel corso delle ultime 12 ore prima della macellazione. Petto, ali e cosce risultano le parti anatomiche più colpite come conseguenza della cattura manuale dei polli (afferrati per le gambe) con cui gli operatori possono trasportare fino a cinque animali per mano, ognuno trattenuto per una zampa (Petracci *et al.*, 2011).

Oltre alle fasi *ante-mortem* che comportano una movimentazione manuale degli animali, anche la fase di stordimento riveste una notevole importanza nell'insorgenza di ematomi. Anche se lo stordimento elettrico rappresenta il sistema più diffuso per gli avicoli può determinare alcune problematiche (frattura delle ali, rottura di capillari, ecc.) (Savenije *et al.*, 2002). La maggiore attenzione posta nei confronti del benessere animale e le

problematiche per la qualità del prodotto derivanti dall'adozione dello stordimento elettrico hanno portato, in Europa, allo sviluppo di tecniche alternative di stordimento a gas (Regolamento n.1099/2009) mediante le quali vengono indotte negli animali anestesia (anidride carbonica) o anossia (argon ed azoto).

Nonostante lo stordimento a gas richieda l'adozione di tecnologie sofisticate e costose (fondamentale l'adozione di sistemi di protezione gli operatori) esso rappresenta un trattamento in grado di ridurre lo stress negli animali che possono rimanere nelle gabbie di trasporto dal momento in cui vengono caricati al macello riducendo di conseguenza l'incidenza di difetti nella carcassa (ossa rotte, emorragie, ecc) (Petracci *et al.*, 2011).

Un colore della carne cruda diverso dal marrone chiaro-rosa atteso ne determina il rifiuto da parte del consumatore. I principali fattori in grado di influenzare il colore delle carni avicole sono i) il contenuto di mioglobina, ii) lo stato chimico della mioglobina e del ferro eme e iii) il pH.

Il contenuto di mioglobina nella carne di pollo (seppur ridotto) dipende essenzialmente dal genotipo, dal tipo di muscolo (muscolo della coscia > petto) e dall'età dell'animale al momento della macellazione. Tuttavia, dal momento che i moderni ibridi selezionati per un tasso di crescita elevato alla macellazione presentano caratteristiche genotipiche ed età simili, le uniche differenze possono essere riscontrate confrontando fra loro muscoli bianchi (petto) e rossi (cosce, ali, ecc.). In particolare, se si considera il petto, la modalità di discesa del pH *post-mortem* rappresenta il fattore principale responsabile delle variazioni di colore della carne fresca.

1.3.3 Carni PSE-like e DFD

Numerosi studi condotti nel corso degli anni hanno evidenziato come l'insorgenza delle anomalie muscolari modifichi notevolmente la qualità delle carni.

Le carni PSE-like vengono di solito declassate in fase di commercializzazione al dettaglio a causa della differente colorazione (colore pallido) e della presenza di abbondante liquido di gocciolamento (*drip*)

(Figura 1.2). Distinguere visivamente le carni PSE-*like* dalle normali è relativamente difficile, dal momento che l'identificazione delle alterazioni nel colore risulta piuttosto problematica ad occhio (Fletcher, 2002).



Figura 1.2 Carne di petto di pollo affetta da anomalia PSE-*like*.

I numerosi studi condotti nel corso degli ultimi vent'anni hanno permesso di individuare l'eziologia e le cause principali alla base dell'insorgenza delle carni PSE-*like*, così come riportato nello schema sottostante (Figura 1.3) (Solomon *et al.*, 1998; Mitchell, 1999 Barbut *et al.*, 2008; Petracci *et al.*, 2009).

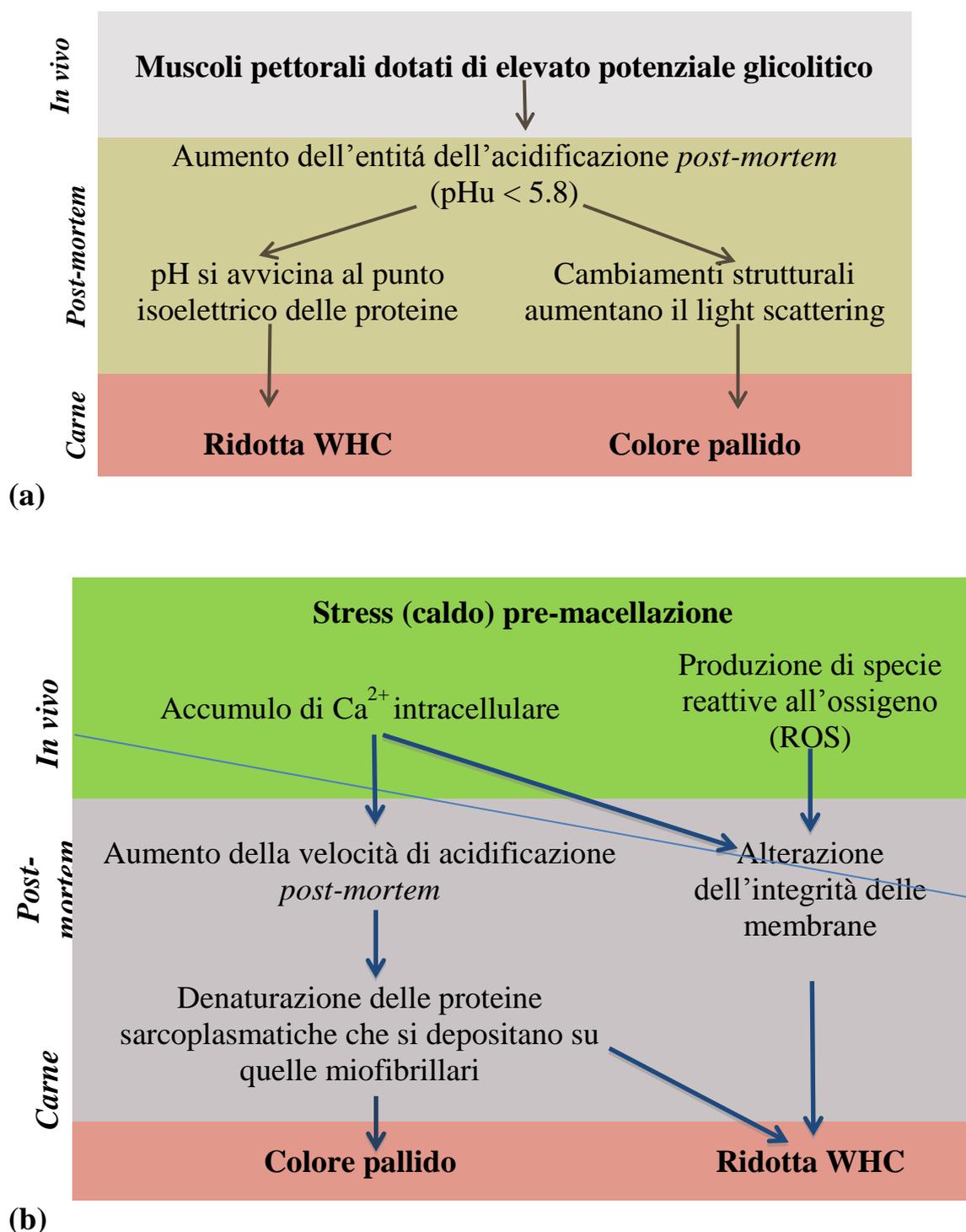


Figura 1.3 Eziologia e cause alla base dell'insorgenza delle carni PSE-like in broilers. **a)** Carni acide **b)** Carni ad acidificazione rapida.

Come si può osservare nella Figura 1.4, in condizioni normali, nelle fasi pre-macellazione, i muscoli del petto sono caratterizzati da un pH superiore a 7 mentre esso subisce una riduzione fino a 5,8-5,9 già 6 ore *post-mortem*. Considerando ciò, è possibile individuare due meccanismi principali che

determinano l'insorgenza dell'anomalia PSE-like: i) una rapida acidificazione delle carni nelle quali il pH subisce una drastica riduzione ed assume valori inferiori a 6 entro un'ora dalla morte dell'animale (in analogia con quanto si verifica nelle carni PSE di suino) (Figura 1.3b); ii) un valore di pH ultimo inferiore a 5,8 raggiunto con una velocità di acidificazione del tutto analoga a quella delle carni normali ("carni acide") (Figura 1.3a). Indipendentemente dal processo scatenante tale manifestazione, le carni che ne risultano presentano una colorazione pallida ed una scarsa capacità di ritenzione idrica.

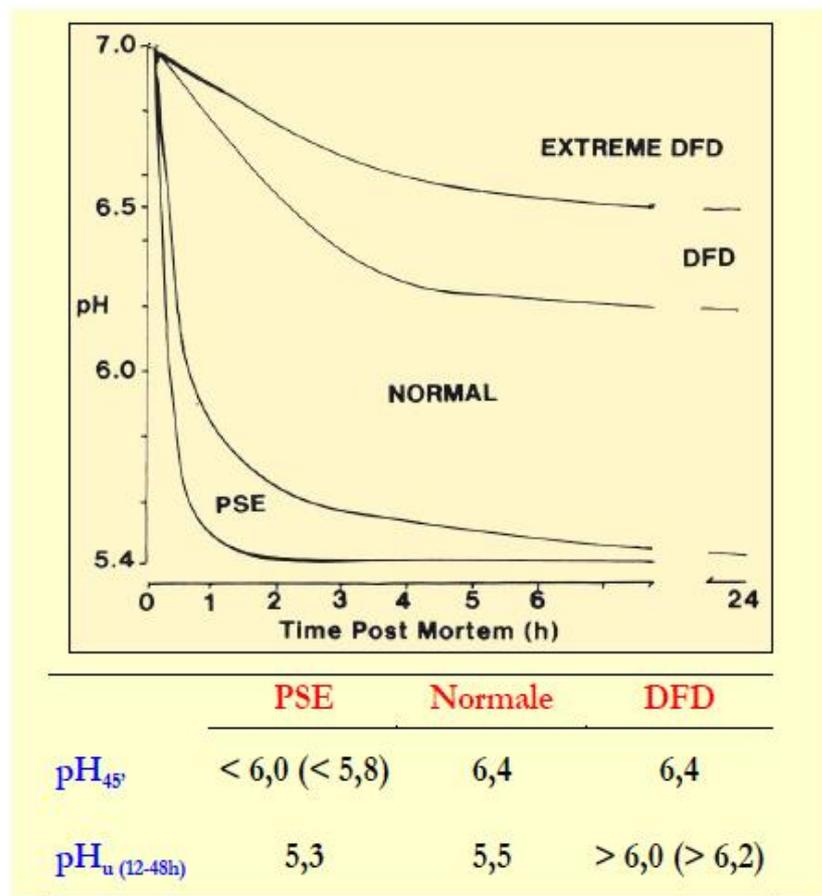


Figura 1.4 Modalità di discesa del pH *post-mortem* in condizioni “normali” e nel caso di carni PSE-like e DFD.

Alcuni studi condotti nel corso degli ultimi anni hanno dimostrato come la selezione di ibridi caratterizzati da una resa in petto e velocità di crescita elevata determini una maggiore sensibilità degli animali allo stress termico a causa di una loro minore capacità di termoregolazione (Sandercock *et al.*, 2006). Pertanto, l'esposizione degli animali alle alte temperature durante le

fasi immediatamente precedenti la macellazione può aumentare l'incidenza delle carni PSE-like (Petracchi *et al.*, 2010).

Tuttavia, aumentando il pH ultimo può indurre la comparsa di carni di colore scuro, consistenza elevata e dotate di scarsa succulenza (DFD, Dark, Firm, Dry) con eventuale effetti negativi sulle caratteristiche microbiche e sensoriali (Barbut *et al.*, 2008), quali colore scuro, elevata capacità di ritenzione idrica (WHC), e minore conservabilità (Figura 1.5). L'anomalia DFD è dovuta alla deplezione delle riserve di glicogeno nel periodo *ante-mortem*. Si manifesta principalmente nella stagione invernale ed è favorita da digiuni pre-macellazione.



Figura 1.5 Carne di petto di pollo che presenta l'anomalia DFD.

1.3.4 Anomalie emergenti

Nel corso degli ultimi anni sono state osservate alcune anomalie emergenti caratterizzate da degenerazione del tessuto muscolare. Fra queste è possibile individuare l'anomalia i) White-striping caratterizzata dalla comparsa di striature bianche (derivanti dell'ispessimento del tessuto connettivo e dalla deposizione di lipidi) dallo spessore variabile disposte in direzione parallela rispetto all'orientamento delle fibre muscolari sulla superficie dei muscoli *P. major* (Kuttappan *et al.*, 2009) (Figura 1.6); ii) Wooden Breast, interessa i muscoli *P. major*, che risultano caratterizzati dalla presenza di aree indurite, rigonfie e dalla colorazione pallida (Sihvo *et al.*, 2014) (Figura 1.7) e, più di recente, iii) l'anomalia definita con il termine di

“Spaghetti meat” caratterizzata da una scarsa coesione fra i fasci di fibre che compongono il tessuto muscolare (Figura 1.8).

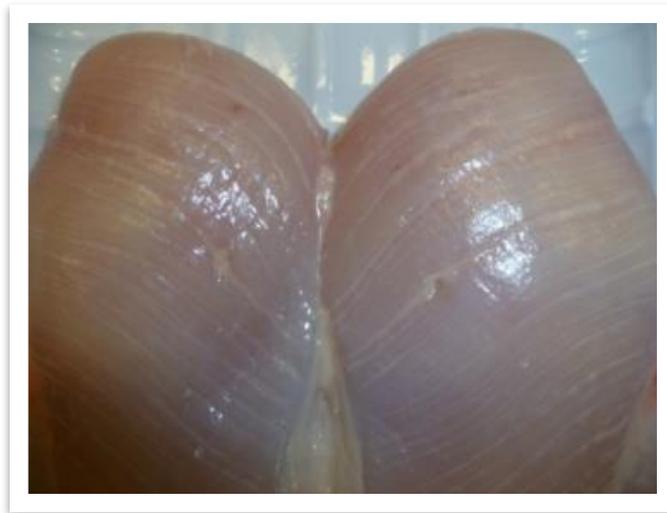


Figura 1.6 Carne di petto di pollo affetta da anomalia white-stripping.



Figura 1.7 Carne di petto di pollo affetta da anomalia wooden breast.



Figura 1.8. Carne di petto di pollo affetta da anomalia spaghetti-meat.

Al giorno d'oggi, la comparsa di anomalie muscolari a carico di muscoli pettorali (che rappresentano il taglio anatomico di maggiore interesse per l'industria di trasformazione della carne) determina un declassamento delle carni come conseguenza dell'aspetto, delle caratteristiche sensoriale e delle proprietà tecnologiche che le caratterizzano.

Dal momento che queste anomalie si manifestano principalmente in ibridi genetici selezionati per un tasso di crescita elevato, appare logico ricercarne le cause scatenanti (dirette o indirette) nelle principali modificazioni determinate dal miglioramento genetico.

1.3.4.1 White-stripping

Come si evince dalla tabella 1.2, l'anomalia white-stripping presenta un tasso di incidenza maggiore negli avicoli maschi, pesanti, selezionati per una resa in petto ed un tasso di crescita elevati (Kuttappan *et al.*, 2009). In funzione della gravità della condizione, i filetti affetti da anomalia white-stripping possono essere classificati come “moderati” e “severi” (Kuttappan *et al.*, 2012).

Tabella 1.2 Influenza dei fattori di produzione di polli da carne (in vivo) sull'incidenza di white-stripping nella carne di petto (Petracci *et al.*, 2015).

Fattori di produzione <i>in vivo</i>	Incidenza di white- stripping	Fonti bibliografiche
Genotipo	Resa di petto alta > standard	Petracci <i>et al.</i> (2013b); Lorenzi <i>et al.</i> (2014)
Sesso	Maschi > Femmine	Kuttappan <i>et al.</i> (2013a); Lorenzi <i>et al.</i> (2014)
Tasso di crescita	Maggiore > minore	Kuttappan <i>et al.</i> (2012a; 2013b); Lorenzi <i>et al.</i> (2014)
Dieta	Contenuto energetico alto > basso	Kuttappan <i>et al.</i> (2012a)
Peso al macello	Più pesante > più leggero	Kuttappan <i>et al.</i> (2013a); Lorenzi <i>et al.</i> (2014)

Dal punto di vista istologico, i campioni affetti da anomalie white-stripping presentano fibre atrofiche interessate da processi degenerativi e rigenerativi occasionali (a cui è associata una perdita dell'integrità strutturale del muscolo), una variazione nelle dimensioni della fibra, degenerazione flocculare/vacuolare e lisi delle fibre, moderata mineralizzazione, lipidosi e fibrosi (Kuttappan *et al.*, 2013). Inoltre, i profili ematologici e sierologici hanno evidenziato come, nonostante l'assenza di un'infezione o infiammazione sistemica, sia riscontrabile un aumento dei livelli dell'enzima creatina chinasi, indice di danneggiamento del tessuto muscolare (Kuttappan *et al.*, 2013). Pertanto, è possibile ipotizzare che una crescita rapida del muscolo pettorale generi uno stress metabolico che promuove la comparsa delle caratteristiche degenerative (simili alle distrofie muscolari). Di conseguenza, così come schematizzato in Figura 1.9, la produzione di radicali liberi e l'accumulo di calcio a livello intracellulare determina il danneggiamento e la perdita di integrità della membrana innescando così l'azione degli enzimi proteolitici e lipolitici e la necrosi delle fibre (che supera la capacità rigenerativa del muscolo) (Petracci *et al.*, 2015).

Nonostante la somiglianza esistente con la distrofia muscolare nutrizionale legata ad una carenza di vitamina E, Kuttappan *et al.* (2012) e

Guetchom *et al.* (2012) hanno riscontrato come l'integrazione dietetica di vitamina E non espliciti alcun effetto significativo sull'incidenza dell'anomalia.

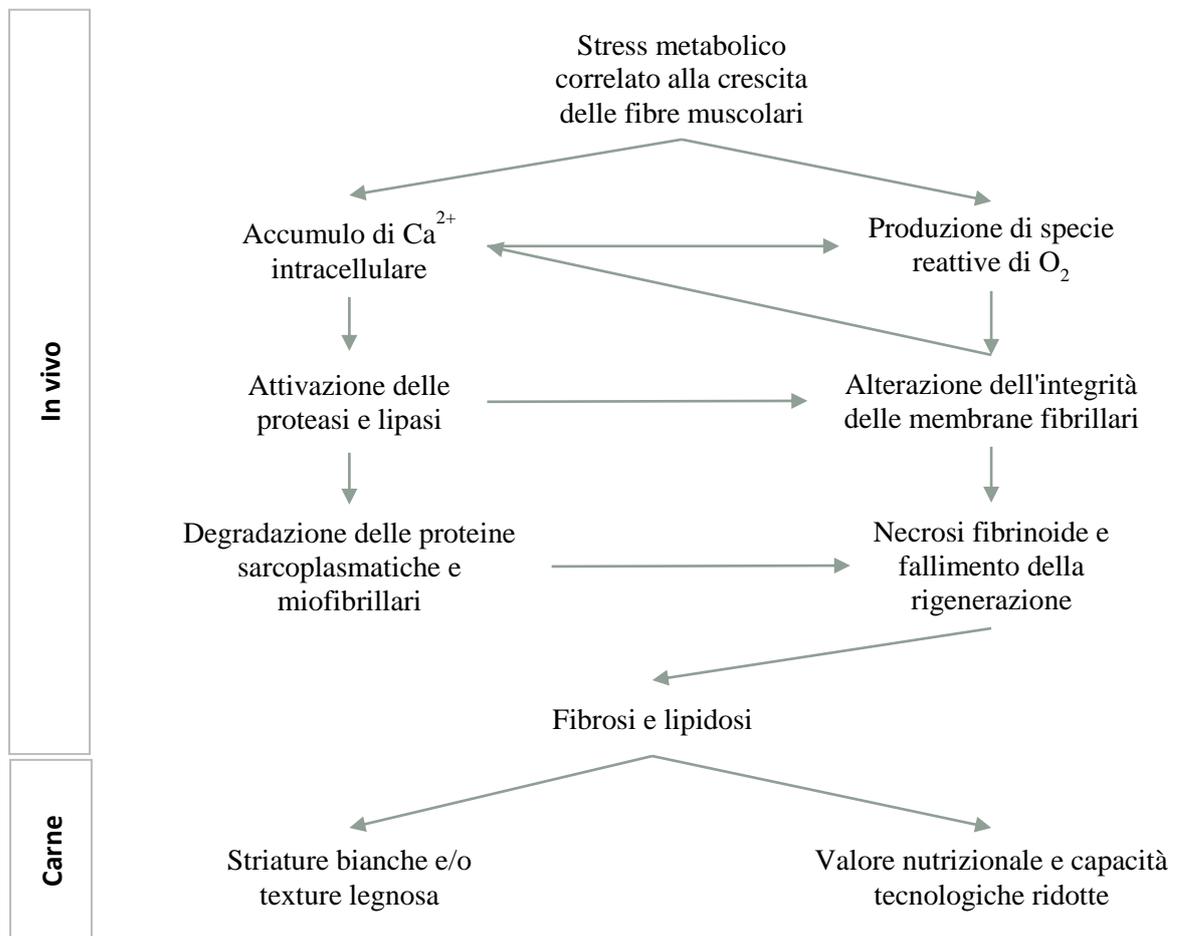


Figura 1.9. Origini possibili delle anomalie emergenti (striature bianche e petto legnoso) della carne di petto di polli da carne (Petracci *et al.*, 2015).

1.3.4.2 Wooden breast

Con il termine “wooden-breast” si intende un’anomalia osservata di recente sul muscolo pettorale degli ibridi commerciali selezionati per una rapida velocità di accrescimento. I muscoli *P. major* affetti da tale anomalia manifestano la comparsa di aree pallide, indurite e rigonfie localizzate in posizione craniale e caudale. Le zone del tessuto muscolare presentano danneggiamenti dal punto di vista istologico e, in molti casi, l’anomalia è

accompagnata dalla presenza di white-stripping (Sihvo *et al.*, 2014). Le principali alterazioni istologiche osservate comprendono la degenerazione e successiva rigenerazione delle fibre muscolari a cui consegue un progressivo accumulo di tessuto connettivo nello spazio interstiziale. Essa a sua volta determina la comparsa di una fibrosi analoga a quella riscontrata nei campioni affetti da anomalia white-stripping (Sihvo *et al.*, 2014). Zimmermann *et al.* (2012) e Kuttappan *et al.* (2013b) hanno inoltre identificato lesioni simili a livello della coscia e nel dorso della carcassa. Inoltre, studi recenti condotti da Sihvo *et al.* (2014) e Ferreira *et al.* (2014) hanno dimostrato come le modifiche istopatologiche nei muscoli affetti da anomalia white-stripping e wooden breast presentino caratteristiche simili e, pertanto, è possibile ipotizzarne un'eziologia comune (Petracci *et al.*, 2015).

1.4 Effetto delle anomalie muscolari sulla qualità della carne

In generale, le carni affette da anomalia white-stripping e wooden-breast possono essere destinate al consumo umano in quanto non considerate pericolose per la salute dei consumatori. Tuttavia, a causa della compromissione della qualità visiva fondamentale nella fase di commercializzazione dei prodotti sezionati, a livello industriale vengono prevalentemente destinate alla trasformazione (Petracci *et al.*, 2014). Nonostante questo, in ragione delle loro minori qualità nutrizionali, tecnologiche e microbiologiche, necessitano di una adeguata gestione e lavorazione da parte dell'industria di trasformazione.

1.4.1 Valore nutrizionale

La maggiore richiesta dei consumatori di prodotti carnei a basso contenuto di grassi, sodio e colesterolo (Cavani *et al.*, 2009) ha determinato l'aumento della domanda di carni avicole (con particolare riferimento alla carne di petto) a discapito delle carni rosse.

L'insorgenza dell'anomalia white-stripping è in grado di alterare profondamente la composizione della carne di petto, aumentando la

percentuale di umidità, grasso intramuscolare e collagene e diminuendo il contenuto di proteine e ceneri che le caratterizza (Pettracci *et al.*, 2014).

L'analisi della composizione chimica della carne condotta in studi precedenti (Kuttappan *et al.*, 2012; Soglia *et al.*, 2016) ha confermato che la manifestazione delle anomalie “white striping” e “wooden breast” determina un consistente aumento del tenore di lipidi e di umidità a discapito del contenuto di proteine che risulta significativamente ridotto. A fronte di questa diminuzione del contenuto totale di proteine, è stato osservato un consistente aumento del livello di collagene. Tali modificazioni nella composizione della carne sono associate ad una drastica riduzione della capacità di trattenere i liquidi durante la cottura e di assorbire le soluzioni di marinatura. Questo effetto è ascrivibile soprattutto alla riduzione del tenore in proteine ed in particolare di quelle miofibrillari che sono le principali responsabili della capacità della carne di legare l'acqua aggiunta mediante marinatura e di gelificare durante la cottura. Inoltre, un aumento nel rapporto collagene/proteina totale, comporta una riduzione del valore nutrizionale della carne in ragione della bassa digeribilità del collagene e dell'assenza di alcuni amminoacidi essenziali (Pettracci *et al.*, 2014; Mudalal *et al.*, 2014). La riduzione della qualità nutrizionale (dovuta alle alterazioni nella composizione chimica) è particolarmente pronunciata quando le anomalie white-striping e wooden-breast si manifestano al livello moderato o grave (Pettracci *et al.*, 2015).

1.4.2 Proprietà tecnologiche e sensoriali

Sebbene l'industria del pollame riesca a tollerare la presenza di una certa proporzione di carne tipo-PSE (specialmente durante i mesi estivi), il limite di tolleranza per le carni affette da anomalia white-striping e/o wooden breast è piuttosto bassa in quanto presentano un aspetto compromesso (che ne riduce l'accettabilità da parte del consumatore) (Pettracci *et al.*, 2015).

Queste anomalie emergenti sono anche associate a una forte riduzione delle proprietà tecnologiche della carne di petto. In questo senso, sia le carni white-striping che quelle wooden breast presentano una WHC (correlata

all'assorbimento della marinatura, alle perdite durante la cottura e alla resa) criticamente bassa (minore nei filetti con petto legnoso) ed una *texture* compromessa rispetto alle carni normali (Petracci *et al.*, 2013b; Mudalal *et al.*, 2015). Nonostante non siano ancora state identificate le cause alla base della riduzione nella WHC per entrambe le anomalie, i fenomeni degenerativi che le contraddistinguono ne determinano una riduzione del contenuto di proteine contrattili e sarcoplasmatiche (Mudalal *et al.*, 2014).

Appare quindi chiaro come le anomalie emergenti influenzino non solo l'aspetto visivo del prodotto fresco ma ne alterino anche le proprietà tecnologiche. Nonostante attualmente queste problematiche non possano essere mitigate attraverso l'adozione di ulteriori strategie di lavorazione (come invece accade nel caso delle carni PSE, aumentando il pH) è possibile applicare strategie di allevamento tali da regolare il tasso di crescita degli avicoli riducendone così l'incidenza (Petracci *et al.*, 2015).

1.4.3 Shelf-life microbiologica

Nonostante un pH finale elevato abbia un effetto positivo sulla WHC e sull'attitudine della carne ad essere lavorata e trasformata, da un punto di vista microbiologico valori di pH superiori a 6 possono comportarne una riduzione nella stabilità (Barbut *et al.*, 2008). Questo come conseguenza della maggiore suscettibilità alla contaminazione microbica e alla proliferazione di diversi tipi di microrganismi degradativi in grado di influire negativamente sul sapore, l'odore e l'aspetto della carne (Mallia *et al.*, 2000a; 2000b). Non sono tuttora disponibili studi sulla stabilità microbiologica dei petti affetti da anomalia white-stripping e wooden breast. Tuttavia, i muscoli *P. major* affetti da entrambe le anomalie presentano valori di pH ultimo elevati (superiori a 6) che possono potenzialmente ridurre la *shelf-life* a causa della contaminazione microbica e di un più rapido sviluppo dei microrganismi degradativi (Petracci *et al.*, 2013b; Mudalal *et al.*, 2015).

CAPITOLO 2

Sperimentazione

2.1 Argomento di studio e scopo della ricerca

Negli ultimi anni, a livello mondiale, è stato registrato un forte aumento del consumo di carni avicole sia in ragione delle caratteristiche nutrizionali che le contraddistinguono sia come conseguenza della loro attitudine ad essere impiegate per la lavorazione e realizzazione di prodotti trasformati. Questo ha comportato un rapido sviluppo della selezione genetica che è stata applicata nel corso degli ultimi decenni allo scopo di ottenere ibridi commerciali caratterizzati da una maggiore velocità di crescita, una maggiore resa in tagli magri (con particolare riferimento al muscolo pettorale) ed un'elevata efficienza di trasformazione del muscolo in carne (Petracci *et al.*, 2014). Nonostante questi notevoli progressi, si è tuttavia registrata una maggiore incidenza di anomalie a carico del tessuto muscolare fra le quali l'anomalia white-stripping e, ancora più recentemente, l'anomalia di destrutturazione del petto che, determinando una riduzione della qualità e delle proprietà tecnologiche delle carni, comportano perdite economiche rilevanti per l'industria (Petracci *et al.*, 2015).

Mentre non sono disponibili studi riguardanti l'impatto dell'anomalia di destrutturazione sulla qualità della carne, l'instaurarsi dell'anomalia white-stripping determina un'alterazione nella composizione chimica della carne che risulta caratterizzata da un consistente aumento nel tenore di umidità, lipidi e collagene a discapito del contenuto in proteine che risulta significativamente ridotto (Kuttappan *et al.*, 2012; Soglia *et al.*, 2016). Tali alterazioni nella composizione della carne sono inoltre associate ad una drastica riduzione delle proprietà tecnologiche che caratterizzano la carne di petto. In questo senso, i filetti affetti da anomalia white-stripping presentano una ridotta capacità di ritenzione idrica nonché un'alterazione nelle principali caratteristiche strutturali e della texture (Petracci *et al.*, 2013b; Mudalal *et al.*, 2015).

Nonostante l'anomalia di destrutturazione (perdita di integrità nella porzione craniale e scarsa coesione fra i fasci di fibre che compongono il muscolo *P. major*) si presenti piuttosto di frequente in combinazione all'anomalia white-striping, finora, nessuno studio è stato condotto allo scopo di valutare le principali caratteristiche qualitative e proprietà tecnologiche delle carni che ne risultano affette.

Pertanto, lo scopo di questo lavoro di tesi è stato quello di valutare l'effetto dell'insorgenza dell'anomalia di destrutturazione, contestuale o meno al manifestarsi dell'anomalia white-striping, sulle principali caratteristiche qualitative e compositive delle carni.

2.2 Materiali e Metodi

2.2.1 Raccolta dei campioni

La prova è stata condotta su un totale di 96 petti di pollo (muscolo *Pectoralis major*), campionati presso uno stabilimento di macellazione e lavorazione delle carni avicole.

Gli animali, provenienti dallo stesso allevamento ed appartenenti al medesimo tipo genetico (ibrido commerciale), sono stati allevati secondo un sistema intensivo convenzionale e macellati in condizioni industriali. I lotti di provenienza presentavano le seguenti caratteristiche omogenee:

- tipo genetico: Ross 308;
- sesso: maschile;
- età alla macellazione: 46 giorni;
- peso medio vivo alla macellazione: 2,8 kg.

I petti, selezionati allo scopo di prelevare un totale di 96 campioni (suddivisi in due repliche successive condotte ad una settimana di distanza l'una dall'altra), sono stati classificati come segue in funzione della presenza di anomalie muscolari:

a. Normali (NORM): non presentano alcun difetto;

b. Destrutturati (D): caratterizzati da perdita di integrità a livello superficiale nella porzione craniale del muscolo *P. major*.

c. White-striping (WS): caratterizzati dalla presenza di striature bianche dallo spessore variabile in direzione parallela rispetto all'orientamento delle fibre muscolari.

d. Destrutturati e white-striped (D + WS) caratterizzati dalla contestuale presenza del difetto di destrutturazione e white-striping.

A titolo di esempio, l'aspetto caratteristico dei campioni appartenenti ai quattro gruppi sperimentali oggetto dello studio è riportato nella figura sottostante (Figura 2.1).

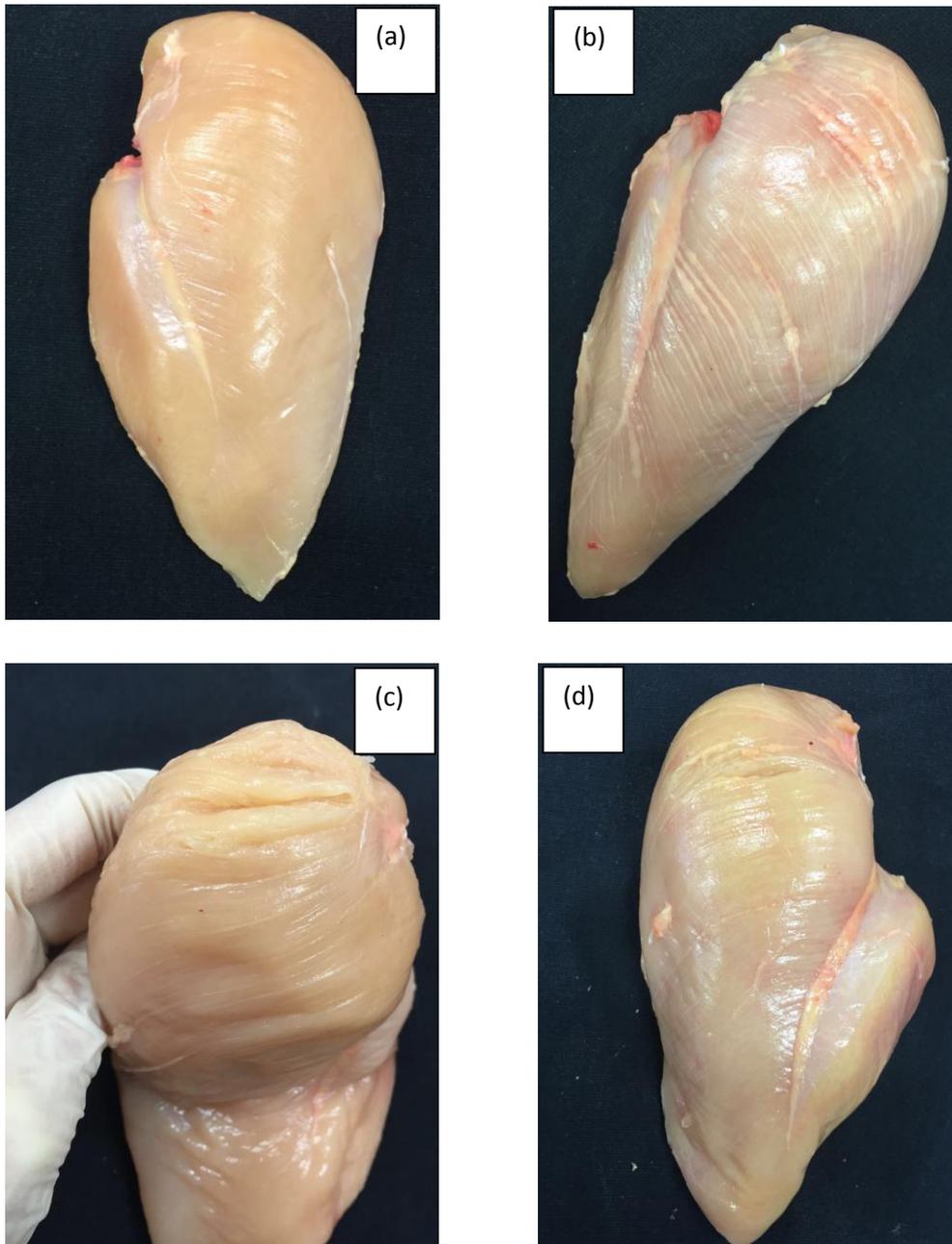


Figura 2.1 Aspetto dei campioni di muscolo *Pectoralis major* Normali (a) e affetti da anomalie White-stripping (b) o destrutturazione (c) e dalla contestuale presenza di entrambe le anomalie (d).

Dopo la selezione all'interno dello stabilimento, ciascun gruppo di campioni è stato confezionato in atmosfera ordinaria e trasportato presso i laboratori del Campus di Scienze degli Alimenti dell'Università di Bologna (Cesena) per l'analisi dei principali parametri chimico-fisici. Dopo l'arrivo dei campioni, da ciascun muscolo *Pectoralis major* sono stati rimossi gli

eventuali depositi di grasso superficiali presenti nonché il tessuto connettivo e per ciascun filetto è stato misurato il peso, la lunghezza, la larghezza e lo spessore in 3 diverse zone.

Successivamente, secondo lo schema riportato nella figura sottostante (Figura 2.2) da ciascun filetto sono stati ricavati due sotto-campioni, uno nella porzione superficiale e uno nella sezione profonda del muscolo. I campioni così ottenuti sono stati sottoposti alla determinazione di pH, colore, analisi NMR a bassa risoluzione e composizione chimica. Sui medesimi campioni sono state condotte ulteriori analisi (indice di frammentazione delle miofibrille (MFI), solubilità e ossidazione delle proteine ed analisi elettroforetica della frazione miofibrillare e sarcoplasmatica) i cui risultati sono stati oggetto di un altro lavoro di tesi (Baldi, 2016).

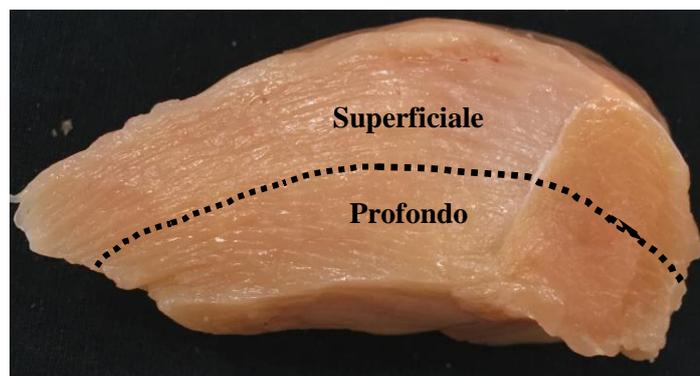


Figura 2.2 Schema di campionamento della porzione superficiale e profonda del muscolo *P. major*.

2.2.2 Determinazione del peso e delle dimensioni

I filetti sono stati pesati con l'impiego di una bilancia analitica, e successivamente ne sono state misurate le dimensioni utilizzando un calibro a pinza, come indicato da Mehaffey *et al.* (2006). I parametri utilizzati per la determinazione delle dimensioni, riportati nello schema sottostante (Figura 2.3) sono:

- Lunghezza (L), misurata nella dimensione più lunga del filetto;
- Larghezza (W), misurata nella parte centrale del filetto, nel punto in cui risulta massima la distanza tra un lato e l'altro del filetto;

- Altezza (H1), misurata in direzione verticale ad 1 cm di distanza, in direzione dorsale, dalla parte della zona caudale del filetto;
- Altezza (H2), misurata in corrispondenza della metà della lunghezza ($\frac{1}{2}L$);
- Altezza (H3), misurata in corrispondenza del punto più alto della zona craniale.
- Le dimensioni rilevate sono state espresse in cm.

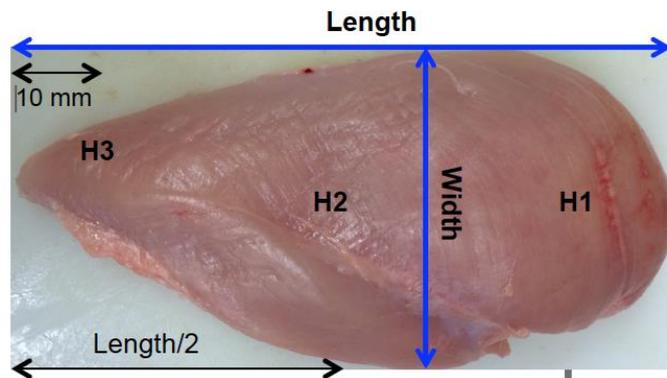


Figura 2.3 Schema applicato per la determinazione delle misure morfometriche sui campioni di muscolo *Pectoralis major*

2.2.3 Determinazione del colore

Il colore della carne fresca rappresenta un parametro fisico di notevole importanza in quanto viene percepito dai consumatori come primo indicatore della qualità dell'alimento stesso, in particolare nell'ambito della commercializzazione di carni fresche (II lavorazioni, prodotti sezionati). Esso dipende da diversi fattori fra i quali la concentrazione dei pigmenti presenti nella carne (principalmente mioglobina), il loro stato chimico (equilibrio ossido-riduttivo), e la modalità di discesa del pH nella fase *post-mortem*. Sui 96 campioni di petto di pollo è stata eseguita la rilevazione del colore ottenuta mediando i tre valori di L^* , a^* e b^* , risultanti da tre misure consecutive, in punti distinti della superficie dorsale del muscolo *P. major*. In particolare, la sezione superficiale e profonda del muscolo sono state analizzate separatamente. Per l'analisi colorimetrica è stato utilizzato un colorimetro a riflettanza (Minolta®CR-400, Minolta Italia S.P.A., Milano, Italy), (Figura

2.4) calibrato utilizzando una mattonella di colore bianco in ceramica, con angolo di osservazione standard (0° rispetto ad un'area di 8 mm di diametro), e illuminante di tipo C (luce media del giorno). Il profilo colorimetrico è stato misurato impiegando la scala CIE Lab che valuta il colore in funzione dei parametri luminosità (L^*), indice di rosso (a^*), b^* indice di giallo (CIE International Commission on Illumination, 1978). Il sistema CIELAB, infatti, è attualmente quello maggiormente impiegato per la descrizione oggettiva del colore delle carni e degli alimenti in genere.



Figura 2.4 Colorimetro Minolta® CR-400 utilizzato per la determinazione del colore.

2.2.4 Determinazione del pH

Il pH costituisce un parametro fondamentale per la valutazione della capacità di ritenzione idrica della carne (WHC, *Water Holding Capacity*): bassi valori di pH, prossimi al punto isoelettrico delle proteine, determinano una scarsa capacità di ritenzione idrica da parte delle carni che, per questo motivo, necessitano dell'aggiunta di ingredienti in grado di aumentare il valore di pH o di favorire la ritenzione attraverso la loro capacità di legare acqua. Viceversa, in condizioni "normali", elevati valori di pH sono sinonimo di un'elevata capacità della carne di trattenere l'acqua, che possiede quindi una buona attitudine alla trasformazione, ma una minore stabilità microbiologica. Il valore di pH è stato determinato sui campioni ricavati dalla

zona craniale dei filetti, prelevati a 24 h *post-mortem*. La metodica impiegata è quella in fase dispersa, messa a punto da Jeacocke (1977): circa 2,5 g di carne finemente sminuzzata sono stati omogeneizzati per 30 secondi mediante Ultra-turrax in 25 ml di una soluzione 5 mM di sodio iodoacetato e 150 mM di KCl preventivamente equilibrata a pH 7,0. Il pH dell'omogenato è stato successivamente determinato mediante pH-metro (mod. Jenway 3510) tarato con soluzioni tampone a pH 7,00 e 4,00 (Figura 2.5).



Figura 2.5 pH-metro utilizzato per la determinazione del pH.

2.2.5 Determinazione della composizione centesimale

2.2.5.1 Umidità

Il tenore in umidità dei differenti campioni è stato determinato ponendo un campione di carne finemente sminuzzata del peso di 5 g circa in stufa per 16 ore alla temperatura di 105°C. Il contenuto di umidità è stato calcolato come differenza di peso tra il campione fresco e dopo essiccamento ed espresso in percentuale (AOAC, 1990).

2.2.5.2 Proteine

La valutazione del contenuto proteico è stata eseguita secondo le indicazioni descritte nel metodo Kjeldhal (AOAC, 1990). Tale metodo è il principale per determinare il contenuto di azoto negli alimenti e quindi anche l'azoto proteico della carne. La materia organica è stata completamente mineralizzata mediante riscaldamento in presenza di un catalizzatore e trasformata in ammonio solfato. È stato poi aggiunto alla miscela idrossido di sodio al 40% con conseguente formazione di ammoniaca in forma gassosa, che è stata raccolta in una soluzione di acido solforico e titolata con soluzione normex di NaOH. La quantità di azoto è stata calcolata dalla quantità di ammoniaca liberata. Per ottenere poi la percentuale di proteine è stato moltiplicato il valore in azoto per un coefficiente che tiene conto della composizione amminoacidica del campione. L'inconveniente della formazione di schiuma che potrebbe carbonizzare durante la mineralizzazione, è stato eliminato aggiungendo pastiglie *anti-foam* la quale serve anche ad abbreviare i tempi di mineralizzazione.

L'analisi si articola in tre distinte fasi, quella di digestione (Figura 2.6), quella di distillazione e la fase finale di titolazione; in particolare, durante questa fase, è stato titolato l'eccesso di acido solforico con idrossido di sodio 0,2 N in presenza di metilarancio fino a comparsa di debole colorazione rosata. Sottraendo ai ml di acido inizialmente presenti quelli residui, ricavati dalla titolazione, si è potuto risalire al quantitativo di acido combinatosi con l'ammoniaca. Questo è infatti il valore da usare nella formula.

$$g = V \times N \times pe/1000$$

V = ml di NaOH utilizzati nella titolazione

N = normalità dell'NaOH

pe = N contenuto in NH₃= 14

Sono così ottenuti i grammi di azoto presenti nel campione esaminato, che moltiplicati per il coefficiente di trasformazione 6,25 per le carni, consente la trasformazione in percentuale delle proteine presenti. I valori nominali delle proteine nelle carni sono all'incirca 15-23%.



Figura 2.6 Mineralizzatore utilizzato per l'analisi dei campioni.

2.2.5.3 Lipidi

La determinazione del contenuto in lipidi intramuscolari totali è stata effettuata secondo la metodica Folch modificata (Folch *et al.*, 1957).

10 g di campione sono stati pesati all'interno di bottiglie di tipo Sovirel da 500 ml, con tappo a vite aggiungendo rispettivamente 50 μ l di metanolo anidro contenente circa 1,2 mg di BHT (terbutil-idrossitoluene). Dopo l'aggiunta di 100 ml di una soluzione cloroformio:metanolo 1:1 (v/v) si è proceduto all'omogeneizzazione per 2 minuti mediante Ultra-turrax.

Ciascuna bottiglia è stata posta in stufa a 60°C per 20 minuti, facendo sfiatare dopo i primi 10 minuti il solvente evaporato. Dopo il raffreddamento dei campioni sono stati addizionati 50 ml di cloroformio, quindi è stata ripetuta la fase di omogeneizzazione per altri 2 minuti. In

seguito i campioni sono stati filtrati mediante imbuto di Büchner (provvisto di carta da filtro), sfruttando il vuoto di una pompa idraulica. I campioni sono stati poi trasferiti in imbuto separatori, nei quali erano già stati aggiunti 50 ml di una soluzione 0,88% di cloruro di potassio, e si è attesa la separazione delle due fasi (12 ore).

La fase organica sottostante (chiaramente distinguibile nella figura sottostante, Figura 2.7) è stata, quindi, raccolta in una bottiglia Sovirel da 500 ml. Dopo aver aggiunto alcuni cucchiaini di sodio solfato anidro, si è lasciata la soluzione a riposo per 4 h agitando la bottiglia di tanto in tanto.

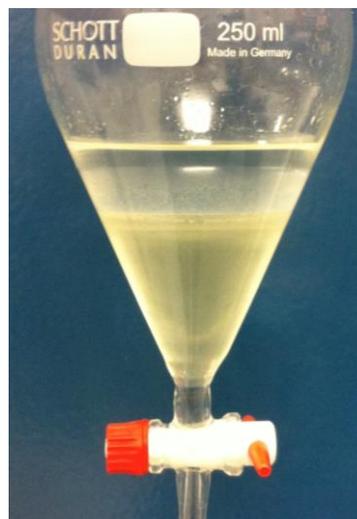


Figura 2.7 Separazione delle fasi nel corso dell'estrazione dei lipidi

Il campione è stato filtrato mediante filtro a pieghe, al fine di eliminare il sodio solfato anidro. La fase organica è stata raccolta in un pallone da 250 ml, precedentemente pesato. Mediante Rotavapor, alla temperatura di 40°C sotto vuoto, il campione è stato portato a secco. Al fine di assorbire eventuali tracce d'acqua, si è poi aggiunto nel pallone l'equivalente di una pipetta Pasteur di etanolo anidro e si è riportato nuovamente a secco. Le ultime tracce di solvente sono state eliminate mediante debole flusso di azoto immesso direttamente nel pallone. La quantità di lipidi totali è stata successivamente calcolata applicando la formula:

$$\% \text{ lipidi totali} = [(P_f - P_i)/P_c] \times 100$$

dove:

Pf = peso finale del pallone contenente il grasso estratto

Pi = Peso iniziale del pallone vuoto

Pc = peso del campione di carne utilizzato per l'estrazione

2.2.5.4 Ceneri

L'analisi (AOAC, 1990) è stata condotta su un campione 5 g di carne, posto in una capsula di porcellana, resistente alle alte temperature. La capsula è stata introdotta in muffola a 525°C, per 4 ore, è stata successivamente raffreddata in essiccatore per 2 ore ed infine pesata (Figura 2.8). La percentuale di ceneri è stata calcolata con la seguente formula:

$$\% \text{ ceneri grezze} = (\text{Peso carne iniziale} - \text{Peso carne finale}) \times (100 / \text{Peso carne iniziale}).$$



Figura 2.8 Aspetto dei campioni a seguito dell'incenerimento in muffola

2.2.5.5 Collagene

La determinazione del contenuto di collagene è stata eseguita impiegando il metodo colorimetrico secondo Kolar (1990). La metodica prevede l'idrolisi con acido solforico e l'ossidazione con clorammina-T con la formazione di un complesso rosso-porpora con 4-dimetilammino-benzaldeide e lettura spettrofotometrica ad una lunghezza d'onda pari a 558 nm (Figura 2.9).

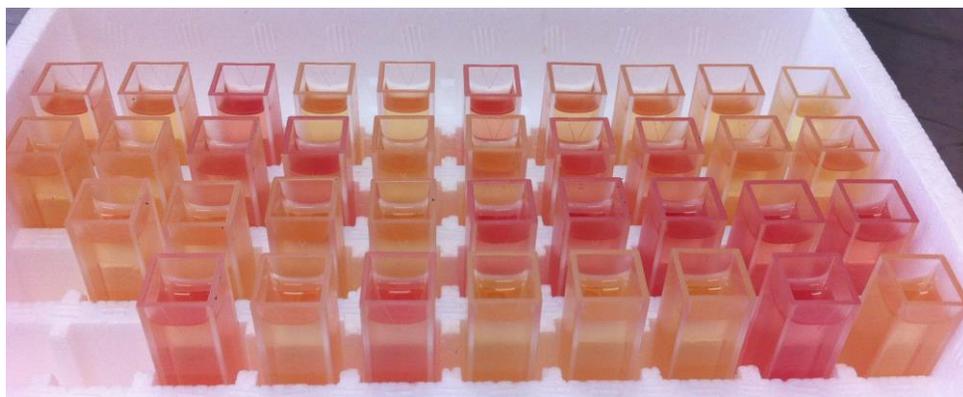


Figura 2.9 Aspetto dei campioni prima della lettura spettrofotometrica a 558 nm.

2.2.6 Analisi mediante spettrometro LF-NMR

Le curve relative ai tempi di rilassamento trasversale (T_2) dei protoni presenti all'interno dei campioni di petto sono state registrate alla frequenza di 20 MHz mediante uno spettrometro Minispec PC/20 Bruker (Milan, Italy) utilizzando la sequenza Carr-Purcell-Meiboom-Gill (CPMG) descritta da Petracci *et al.* (2012). Tutte le misure sono state condotte alla temperatura costante di 24°C utilizzando un campione caratterizzato da un peso di circa 600 mg ed un'altezza tale da non superare la zona di attività del campo magnetico dello strumento. Le CPMG ottenute sono state normalizzate considerando il peso del campione sottoposto ad analisi e trasformate in rilassogrammi (distribuzioni continue dei tempi di rilassamento) attraverso il programma UPEN (Borgia, Brown, & Fantazzini, 1998). Successivamente, seguendo quanto riportato precedenti studi condotti da Bianchi *et al.* (2004) e Petracci *et al.* (2012), ogni rilassogramma è stato interpretato in termini di tre popolazioni di protoni riconducibili all'acqua legata, intra-miofibrillare ed extra-miofibrillare. Per analizzare separatamente queste tre popolazioni di protoni, i rilassogrammi sono stati "fittati" attraverso quattro curve esponenziali e le due caratterizzate da tempi T_2 intermedi, che descrivono il comportamento dei protoni riconducibili all'acqua intra-miofibrillare, considerate insieme secondo quanto proposto da Brown (1989).

2.2.7 Elaborazione statistica

L'effetto esplicito dalla presenza delle anomalie muscolari white-striping e/o di destrutturazione è stato valutato sia nella porzione superficiale che nella sezione profonda del muscolo *P. major*. In particolare, l'effetto della posizione di campionamento (superficie *vs.* profondità) su tutti i parametri considerati nel corso di questo studio è stato testato nell'ambito di ciascun gruppo mediante *t-test* per campioni appaiati. Successivamente, nell'ambito di ciascuna delle posizioni di campionamento, l'effetto determinato dalle diverse anomalie muscolari (destrutturazione, white-striping e destrutturazione + white-striping) sui diversi parametri oggetto di studio è stato testato mediante l'opzione ANOVA ad un criterio di classificazione della procedura GLM (statistica 9). La differenza fra le medie è stata poi saggiata mediante il test di confronto multiplo di Tukey-HSD. Prima di eseguire l'Analisi della Varianza, tutti i valori espressi in termini percentuali, nonché i dati caratterizzati da una distribuzione non "normale" e da eteroscedasticità, sono stati opportunamente trasformati.

2.3 Risultati e discussione

2.3.1 Misure morfometriche

L'effetto esplicito dall'insorgenza dell'anomalia white-stripping, di fenomeni di destrutturazione e della loro contestuale presenza sulle misure morfometriche (peso e dimensioni dei filetti) è riportato nella tabella sottostante (Tabella 2.1).

Parametro	Gruppo				esm	P-value
	NORM	D	WS	D + WS		
Peso del filetto (g)	231,65 ^b	278,12 ^a	286,91 ^a	309,19 ^a	5,06	<0,001
Lunghezza (L) (mm)	174,34 ^b	174,57 ^b	180,35 ^a	180,41 ^a	0,99	0,028
Larghezza (W) (mm)	93,07	93,92	94,33	97,60	0,97	NS
Altezza craniale (H1) (mm)	34,50 ^c	38,39 ^b	40,35 ^b	44,84 ^a	0,63	<0,001
Altezza mediale (H2) (mm)	23,86 ^c	29,43 ^{ab}	27,40 ^b	31,64 ^a	0,53	<0,001
Altezza caudale (H3) (mm)	7,28 ^b	10,10 ^a	8,93 ^{ab}	8,71 ^{ab}	0,29	0,005

Tabella 2.1 Effetto dell'anomalia white-stripping e/o di destrutturazione su peso e dimensioni dei muscoli *P. major* di pollo

^{a-c} Valori medi contrassegnati da lettere differenti differiscono significativamente ($P \leq 0,05$);

NS = non significativo; esm = errore standard della media;

¹ Altezza misurata in corrispondenza del punto più alto della parte craniale del filetto;

² Altezza misurata alla metà della distanza della lunghezza del filetto;

³ Altezza misurata ad 1 cm dalla parte caudale del filetto.

In accordo con quanto precedentemente riscontrato in campioni affetti da anomalia white-stripping (Mudalal *et al.*, 2015; Bowker e Zhang, 2016), i filetti caratterizzati dalla presenza di anomalia white-stripping, di destrutturazione e dalla contestuale presenza di entrambi i difetti presentano un peso significativamente superiore rispetto al gruppo di controllo (286,91, 278,12 e 309,19 vs. 231,65 g; $P < 0,001$). Per quanto riguarda le rilevazioni

morfometriche, nel complesso, i filetti dei campioni affetti da anomalie muscolari sono risultati caratterizzati da un valore relativo alla lunghezza (L) e spessori significativamente più elevati ($P < 0,05$) in tutti i punti presi in considerazione (H1, H2 e H3). Risultati simili sono stati ottenuti nel corso di un precedente studio condotto da Mudalal *et al.* (2015) e volto a caratterizzare le carni affette da anomalia white-stripping e wooden breast. Dal confronto fra i gruppi D, WS e D+WS, i campioni caratterizzati dalla presenza di anomalia white-stripping (WS e D+WS) hanno mostrato una lunghezza più elevata mentre quelli affetti da destrutturazione (D e D+WS) hanno presentato spessori significativamente maggiori. I risultati delle misure morfometriche confermano quanto riscontrato in precedenti studi condotti da Kuttappan *et al.* (2013a,b,c) e Mudalal *et al.* (2015) nei quali i petti affetti da anomalia white-stripping e wooden breast hanno mostrato, nel complesso, un peso e dimensioni dei filetti più elevate.

2.3.2 Effetto della posizione di campionamento su pH, colore e composizione della carne

Nel corso di questo studio, per la prima volta è stato considerato l'effetto esplicito dalla posizione di campionamento (superficiale vs. profondo) sui principali parametri di qualità dei campioni appartenenti ai quattro gruppi oggetto d'analisi. I risultati ottenuti dal confronto intra-gruppo saggiato mediante *t-test* per campioni appaiati fra i valori registrati nella sezione superficiale e profonda dei muscoli P. major sono riportati nella tabella sottostante (Tabella 2.2)

Parametro	Gruppo			
	N	D	WS	D + WS
pH	NS	<i>0,001</i>	NS	<i><0,001</i>
Luminosità (L*)	<i><0,001</i>	<i><0,001</i>	<i><0,001</i>	<i>0,004</i>
Indice di rosso (a*)	NS	NS	NS	NS
Indice di giallo (b*)	<i>0,045</i>	NS	<i>0,012</i>	NS
Umidità (%)	<i>0,009</i>	<i><0,001</i>	<i>0,0002</i>	<i>0,0000</i>
Proteine (%)	<i>0,0005</i>	<i><0,001</i>	<i><0,001</i>	<i><0,001</i>
Lipidi (%)	NS	<i>0,011</i>	<i>0,004</i>	<i>0,0001</i>
Ceneri (%)	NS	<i>0,012</i>	NS	<i>0,0001</i>
Collagene (%)	<i>0,007</i>	<i><0,001</i>	<i><0,001</i>	<i>0,011</i>

Tabella 2.2 Valori di probabilità ottenuti saggiando le differenze fra la porzione superficiale e profonda dei campioni appartenenti ai quattro gruppi oggetto dello studio (confronto intra-gruppo).

NS = non significativo.

In particolare, per quanto riguarda il pH, i campioni D e D+WS hanno presentato un valore di pH ultimo significativamente differente funzione della posizione di campionamento: il pH misurato nella sezione superficiale è risultato significativamente superiore rispetto alla sezione profonda. Per quanto riguarda le differenze di colore esistenti fra la sezione superficiale e profonda dei filetti, tutti i campioni (indipendentemente dal gruppo di appartenenza) hanno presentato un valore di luminosità significativamente superiore ($P < 0,001$) nella sezione superficiale rispetto a quella profonda del muscolo. Al contrario, seppure non sussista alcuna differenza significativa in termini di indice di giallo (b*) fra la porzione superficiale e quella profonda nei campioni D e D+WS, i campioni NORM e WS hanno mostrato un valore più elevato nella sezione profonda del muscolo (b*, 10,31 vs. 10,83 e 12,61 vs. 13,19; $P < 0,05$).

Dal momento che per la prima volta questo studio si propone di valutare l'effetto della posizione di campionamento (superficiale vs. profonda) sulle caratteristiche compositive dei muscoli *P. major* appartenenti ai quattro gruppi oggetto d'analisi, è importante sottolineare come sia possibile riscontrare delle differenze intra-gruppo in termini di umidità, proteine e collagene (Tabella 2.2). In particolare, in tutti i gruppi di campioni è stato riscontrato il medesimo andamento: la porzione superficiale del muscolo presenta un maggiore contenuto di umidità e collagene a cui si associa un minore tenore di proteine. Per quanto riguarda il contenuto di lipidi, confrontando intra-gruppo i risultati ottenuti nelle due posizioni di campionamento, essi sono risultati significativamente più elevati nella porzione superficiale di tutti i campioni affetti da anomalie muscolari (D, WS e D+WS) (1,82 vs. 1,59; 2,47 vs. 2,05 e 2,40 vs. 1,93 %; $P < 0,05$). Al contrario, la porzione profonda dei filetti affetti da anomalia di destrutturazione (D+WS) è risultata caratterizzata da un maggiore tenore di ceneri rispetto a quella superficiale corrispondente (1,16 vs. 1,10 e 1,19 vs. 1,10 %; $P < 0,001$).

2.3.3 Effetto delle anomalie su pH e colore delle carni

I risultati relativi all'effetto di white-stripping, destrutturazione e della contestuale presenza di entrambe le anomalie muscolari sui principali parametri di qualità delle carni misurati nella sezione superficiale e profonda dei muscoli *P. major* sono riportati, rispettivamente, in tabella 2.3 e 2.4.

Considerando le differenze che sussistono fra le sezioni superficiali dei quattro gruppi oggetto di studio e in analogia con quanto riscontrato nel corso di studi precedenti su muscoli *P. major* affetti da anomalie muscolari (Mudalal *et al.*, 2015), i campioni D, WS e D+WS hanno presentato, nel complesso, un valore di pH ultimo più elevato ($P < 0,001$) rispetto al gruppo di controllo. Analogamente, per quanto riguarda la sezione profonda dei muscoli, i campioni D sono caratterizzati da un pH più elevato rispetto ai filetti normali (5,95 vs. 5,87; $P < 0,05$) mentre quelli WS e D+WS hanno manifestato valori intermedi.

	Gruppo				esm	P-value
	NORM	D	WS	D+WS		
pH	5,86 ^b	6,03 ^a	5,96 ^a	6,00 ^a	0,014	<0,001
Luminosità (L*)	54,44	54,41	54,55	54,84	0,268	NS
Indice di rosso (a*)	0,89	0,75	1,13	1,00	0,089	NS
Indice di giallo (b*)	10,31 ^b	11,53 ^{ab}	12,61 ^a	13,01 ^a	0,309	0,008

Tabella 2.3 Effetto dell'anomalia white-stripping e/o di destrutturazione sui principali parametri di qualità della sezione superficiale dei muscoli *P. major* di pollo.

^{a-b} Valori medi contrassegnati da lettere differenti differiscono significativamente ($P \leq 0,05$);

NS = non significativo; esm = errore standard della media;

	Gruppo				esm	P-value
	NORM	D	WS	D+WS		
pH	5,87 ^b	5,95 ^a	5,93 ^{ab}	5,90 ^{ab}	0,010	0,010
Luminosità (L*)	56,45	56,15	56,24	56,11	0,266	NS
Indice di rosso (a*)	0,97	0,85	1,34	1,09	0,087	NS
Indice di giallo (b*)	10,83 ^b	11,67 ^{ab}	13,19 ^a	13,31 ^a	0,297	0,005

Tabella 2.4 Effetto dell'anomalia white-stripping e/o di destrutturazione sui principali parametri di qualità della sezione profonda dei muscoli *P. major* di pollo.

^{a-b} Valori medi contrassegnati da lettere differenti differiscono significativamente ($P \leq 0,05$);

NS = non significativo; esm= errore standard della media;

Per quanto riguarda le differenze di colore riscontrate fra i gruppi considerati, sono state osservate differenze significative per l'indice di giallo (b*) (sia nella porzione superficiale che nella sezione profonda dei campioni), mentre non è stata osservata alcuna differenza per l'indice di rosso (a*) e la luminosità (L*). Le differenze riscontrate per l'indice di giallo, seppure significative, sono state di entità piuttosto trascurabile dal punto di vista pratico. I risultati di questo studio confermano quanto riscontrato in un recente studio nell'ambito del quale non è emersa alcuna differenza di colore fra i petti

affetti da anomalia white-stripping ed il gruppo di controllo (Bowker e Zhuang, 2016).

2.3.4 Effetto delle anomalie sulla composizione delle carni

I risultati relativi alla composizione centesimale analizzata considerando separatamente la sezione superficiale e profonda dei filetti appartenenti ai quattro gruppi oggetto dello studio sono riportati nelle tabelle sottostanti (Tabella 2.5 e 2.6).

Parametro	Gruppo				esm	P-value
	NORM	D	WS	D+WS		
Umidità (%)	75,16 ^b	76,31 ^a	75,20 ^b	76,13 ^a	0,120	<0,001
Proteine (%)	23,61 ^a	21,91 ^b	22,54 ^b	21,91 ^b	0,126	<0,001
Lipidi (%)	1,53 ^b	1,82 ^b	2,47 ^a	2,40 ^a	0,068	<0,001
Ceneri (%)	1,21 ^a	1,10 ^b	1,15 ^{ab}	1,10 ^b	0,010	<0,001
Collagene (%)	0,86 ^b	0,94 ^a	0,92 ^a	0,92 ^a	0,011	0,050

Tabella 2.5 Effetto dell'anomalia white-stripping (WS) e/o di destrutturazione (D) sulla composizione centesimale dei muscoli *P. major* di pollo (sezione superficiale).

^{a-b} Valori medi contrassegnati da lettere differenti differiscono significativamente ($P \leq 0,05$);

NS = non significativo; esm= errore standard della media;

Come si evince dalla tabella 2.5, a conferma di quanto riscontrato in studi precedenti (Petracci *et al.*, 2015; Mudalal *et al.*, 2015), le sezioni superficiali dei campioni affetti da anomalie muscolari sono risultate caratterizzate da un minor tenore di proteine (21,91, 22,54 e 21,91 vs. 23,61 %; $P < 0,001$) a cui si contrappone un maggiore contenuto di collagene (0,94, 0,92 e 0,92 vs. 0,86%; $P \leq 0,05$) rispetto al gruppo di controllo. Inoltre, è interessante osservare come mentre l'insorgenza dell'anomalia white-stripping (campioni WS e D+WS) sia associata ad un incremento nel contenuto lipidico dei campioni (2,47 e 2,40 vs. 1,53 e 1,82 %; $P < 0,001$), la comparsa di fenomeni di destrutturazione (campioni D e D+WS) determini una variazione

del contenuto di umidità (incremento) (76,31 e 76,13 vs. 75,16 e 75,20 %; $P < 0,001$) e ceneri (riduzione) (1,10 e 1,10 vs. 1,21 e 1,15 %; $P < 0,001$).

Parametro	Gruppo				esm	P-value
	NORM	D	WS	D+WS		
Umidità (%)	74,68 ^{ab}	75,23 ^a	74,39 ^b	75,11 ^a	0,086	0,001
Proteine (%)	24,34 ^a	23,50 ^b	23,55 ^b	23,40 ^b	0,092	<0,001
Lipidi (%)	1,58 ^b	1,59 ^b	2,05 ^a	1,93 ^a	0,042	<0,001
Ceneri (%)	1,21	1,16	1,16	1,19	0,009	0,117
Collagene (%)	0,82	0,83	0,84	0,84	0,007	0,724

Tabella 2.6 Effetto dell'anomalia white-stripping (WS) e/o di destrutturazione sulla composizione centesimale dei muscoli *P. major* di pollo (sezione profonda).

^{a-b} Valori medi contrassegnati da lettere differenti differiscono significativamente ($P \leq 0,05$); NS = non significativo; esm= errore standard della media;

Come è possibile osservare in Tabella 2.6, le caratteristiche compositive delle sezioni profonde dei campioni oggetto dello studio presentano i medesimi andamenti riscontrati in quelle superficiali con le uniche differenze legate al contenuto di ceneri e collagene che presentano valori analoghi fra i gruppi.

Questi risultati confermano quanto riscontrato da Bowker e Zhuang (2016): nonostante anche la porzione profonda dei muscoli *P. major* sia interessata da profondi cambiamenti in termini di caratteristiche qualitative e composizione, l'effetto dell'insorgenza delle anomalie white-stripping e/o di destrutturazione si manifesta in modo più marcato nella sezione superficiale essendo questa la porzione in cui si sviluppa.

2.3.5 Proprietà rilassometriche

La Figura 2.10 mostra, a titolo esemplificativo, due spettri relativi ai T_2 rappresentativi della sezione superficiale e profonda di un campione senza anomalie muscolari. I valori di intensità relativa ed i T_2 osservati per le tre differenti popolazioni di protoni considerate nel corso del presente studio sono riportati nella tabella sottostante (Tabella 2.7) nella quale sono inclusi anche i

risultati ottenuti dal confronto intra-gruppo saggiato mediante *t-test* per campioni appaiati fra i valori registrati nella sezione superficiale e profonda dei muscoli *P. major*.

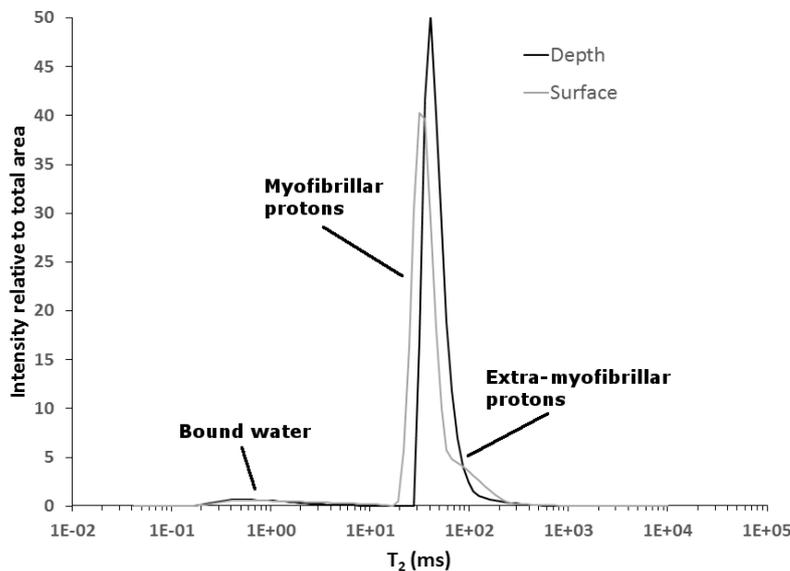


Figura 2.10 Spettri T_2 rappresentativi della sezione superficiale (linea grigia) e profonda (linea nera) di un campione senza anomalie muscolari.

I valori di intensità relativa per ognuna delle tre popolazioni di protoni considerate sono risultate significativamente differenti nella porzione superficiale e profonda nei tre gruppi di campioni affetti da anomalie muscolari (D, WS, D+WS). In particolare, le frazioni attribuite all'acqua legata ed intra-miofibrillare hanno mostrato un valore di intensità relativa inferiore nella sezione superficiale del muscolo mentre quella extra-miofibrillare ha presentato valori superiori. In generale, i cambiamenti riscontrati nei valori di intensità relativa sono risultati inversamente proporzionali ai tempi di rilassamento trasversali T_2 .

Considerando i risultati ottenuti per la porzione profonda dei muscoli *P. major*, se paragonati al gruppo di controllo, i campioni caratterizzati dalla contestuale presenza dell'anomalia white-stripping e di destrutturazione hanno mostrato un valore di intensità relativa attribuito alla frazione dell'acqua intra-miofibrillare inferiore ed un valore più elevato associato alla frazione extra-miofibrillare mentre i campioni WS e D hanno assunto valori intermedi. Un andamento analogo è stato riscontrato nei campioni ottenuti dalla porzione

superficiale del muscolo, per i quali le differenze sono risultate tuttavia più marcate. Pochi studi sono stati condotti finora allo scopo di caratterizzare le carni affette da anomalie muscolari attraverso la valutazione delle curve relative ai tempi di rilassamento trasversali (T_2) ottenute mediante TD-NMR. In più, dal momento che l'identificazione delle principali anomalie muscolari condotta *on-line* è basata unicamente sull'osservazione visiva dei petti, questo studio preliminare ha permesso di verificare che la classificazione visiva dei campioni corrisponde ad una differenza oggettiva riscontrabile analizzando le curve dei tempi di rilassamento trasversali (T_2).

		Acqua legata		Acqua intra-miofibrillare		Acqua extra-miofibrillare	
		Intensità relativa (%)	T ₂ (ms)	Intensità relativa (%)	T ₂ (ms)	Intensità relativa (%)	T ₂ (ms)
Profondo (P)	NOR M	3,90 ± 0,30 _{ab}	1,10 ± 0,12 ^a	92,18 ± 1,75 ^a	45,14 ± 2,10 _a	3,92 ± 1,82 ^b	184,57 ± 26,85 ^a
	D	3,73 ± 0,22 ^b	1,13 ± 0,15 ^a	91,63 ± 1,99 ^{ab}	44,87 ± 1,91 _a	4,64 ± 2,00 _{ab}	180,49 ± 25,35 ^a
	WS	3,92 ± 0,26 ^a	1,07 ± 0,16 ^a	91,42 ± 1,57 ^{ab}	44,76 ± 2,70 _a	4,66 ± 1,66 _{ab}	177,39 ± 21,44 ^a
	D+W S	3,69 ± 0,40 _{ab}	1,18 ± 0,26 ^a	90,22 ± 2,61 ^b	46,10 ± 3,62 _a	6,09 ± 2,90 ^a	181,16 ± 18,22 ^a
Superficiale (S)	NOR M	3,74 ± 0,27 ^a	1,17 ± 0,20 ^b	90,53 ± 1,73 ^a	45,16 ± 2,67 _b	5,73 ± 1,75 ^c	172,96 ± 22,71 ^a
	D	3,46 ± 0,34 _{bc}	1,25 ± 0,24 _{ab}	87,53 ± 3,92 ^{bc}	47,40 ± 3,08 _a	9,00 ± 4,01 _{ab}	169,79 ± 18,40 ^a
	WS	3,59 ± 0,31 _{ab}	1,20 ± 0,21 ^b	90,11 ± 2,32 ^{ab}	47,30 ± 2,14 _a	6,30 ± 2,50 ^c	176,91 ± 15,88 ^a
	D+W S	3,30 ± 0,36 ^c	1,35 ± 0,21 ^a	85,46 ± 4,50 ^c	50,01 ± 5,03 _a	11,24 ± 4,72 _a	183,01 ± 16,78 ^a
S vs. P	NOR M	-0,16 ± 0,35 _{a*}	0,07 ± 0,24 _{a*}	-1,65 ± 1,72 ^{a*}	0,02 ± 2,39 ^b	1,81 ± 1,80 ^b	-11,61 ± 36,47 ^a
	D	-0,27 ± 0,31 _{a*}	0,12 ± 0,30 _{a*}	-4,10 ± 4,20 ^{b*}	2,53 ± 3,08 ^a	4,36 ± 4,26 _{a*}	-10,70 ± 31,39 ^a
	WS	-0,33 ± 0,25 _{a*}	0,13 ± 0,23 _{a*}	-1,31 ± 2,24 ^{a*}	2,54 ± 1,96 _{a*}	1,64 ± 2,32 _{b*}	-0,48 ± 26,53 ^a
	D+W S	-0,39 ± 0,44 _{a*}	0,16 ± 0,28 _{a*}	-4,76 ± 5,08 ^{b*}	3,91 ± 4,66 _{a*}	5,15 ± 5,30 _{a*}	1,85 ± 21,20 ^a

Tabella 2.7 Effetto dell'anomalia white-stripping (WS) e/o di destrutturazione (D) sull'intensità relativa e sui tempi di rilassamento (T₂) delle tre popolazioni di protoni identificate attraverso la tecnica TD-NMR.

^{a-b} Valori medi contrassegnati da lettere differenti differiscono significativamente ($P \leq 0,05$);

2.4 Conclusioni

Questo lavoro di tesi ha rappresentato la prima ricerca sugli effetti esercitati dall'anomalia di destrutturazione, in concomitanza o meno con il difetto white-stripping di cui si dispongono di maggiori informazioni, sulla composizione chimica e alcune caratteristiche tecnologiche delle carni di pollo.

Dall'esame complessivo dei risultati, si può evidenziare che la manifestazione dell'anomalia di destrutturazione ha determinato una consistente diminuzione del contenuto di proteine ed un concomitante aumento del tenore di umidità. Al contrario, l'aumento del livello di lipidi è associato alla presenza della sola anomalia white-stripping, i cui effetti sulla composizione sembrano essere in generale più moderati. Nei petti destrutturati si osserva inoltre una leggera diminuzione del contenuto di ceneri ed un aumento di collagene. Tuttavia, nel complesso, le modificazioni sulla composizione sono più marcate nella parte superficiale del petto dove effettivamente è possibile distinguere visivamente la presenza dell'anomalia, mentre in profondità le differenze sono di entità più limitate.

Per quanto concerne le caratteristiche tecnologiche, i petti destrutturati sono dotati di valori di pH ultimo più elevati, soprattutto nella parte superficiale, e non si discostano da quelli osservati per l'anomalia white-stripping. Il colore risulta scarsamente modificato ad eccezione dell'indice di giallo che ha mostrato valori superiori nei petti anomali, soprattutto in quelli white-stripping, presumibilmente in relazione al maggiore accumulo di lipidi intramuscolari e quindi anche di pigmenti gialli derivanti dall'alimentazione a base di mais. Infine, l'analisi rilassometrica mediante LR-NMR ha permesso di evidenziare che i petti destrutturati, rispetto sia a quelli normali che affetti dal solo difetto white-stripping, possiedono una maggiore quantità di acqua extra-miofibrillare, che più facilmente può essere persa durante le fasi di conservazione e trasformazione delle carni, a discapito della frazione intra-miofibrillare. In analogia con quanto osservato per la composizione chimica,

tale risultato è particolarmente accentuato nello strato superficiale, mentre nello strato profondo tali modificazioni riguardano solo i campioni affetti da entrambe le anomalie.

Come già evidenziato in precedenti studi sulle anomalie emergenti delle carni di petto di pollo, tali modificazioni sono attribuibili alle lesioni miopatiche croniche quali la presenza di fibre con diametro anormale, degenerazione e lisi delle fibre, rigenerazione occasionale, lipidosi, e fibrosi. Tuttavia, questo studio ha permesso di stabilire che le modificazioni avvengono principalmente nella porzione superficiale del muscolo *P. major*, dove verosimilmente i processi degenerativi prendono avvio per poi coinvolgere in una seconda fase anche la parte profonda. Inoltre, è stato dimostrato che la presenza di destrutturazione superficiale dei muscoli pettorali comporta complessivamente una modificazione più accentuata della composizione e della distribuzione dell'acqua rispetto alla sola presenza dell'anomalia white-striping.

BIBLIOGRAFIA

Aberle E., Forrest J., Gerrard D., Merkel R.A., Mills E., Judge M. (2012). Principles of Meat Science. Kendall Hunt Publishing.

Aviagen (2007) Ross 308 broiler performance objectives. In-house publication, global. Aviagen Ltd., Newbridge, UK.

Aviagen (2012) Ross 308 broiler performance objectives. In-house publications, global. Aviagen Ltd, Newbrige, UK.

Baldi G. (2016). Valutazione della frazione proteica di petti di pollo con anomalie "white striping" e di destrutturazione. Tesi di laurea magistrale del Corso di studio in Scienze e Tecnologie Alimentari, Scuola di Agraria e Medicina Veterinaria, *Alma Mater Studiorum*, Università di Bologna, A.A. 2015-16, I Sessione.

Balls García, José Luis (dicembre, 2014). Miopatia con Estrias Blancas. AviNews.

Barbut, S., Sosnicki, A.A., Lonergan, S.M, Knapp, T., Ciobanu, D.C., Gatcliffe, L.J., Huff-Lonergan, E. and Wilson, E.W. (2008) Progress in reducing the pale, soft and exudative (PSE) problem in pork and poultry meat. *Meat Science* 79: 46-63.

Branciarri, R., Mugnai, C., Mammoli, R., Miraglia, D., Ranucci, D., Dal Bosco, A. and Castellini, C. (2009) Effect of genotype and rearing system on chicken behavior and muscle fiber characteristics. *Journal of Animals Science* 87: 4109-4117.

Brewer, V.B., Kuttappan, V.A, Emmert, J.L., Meullenet, J.F. and Owens, C.M. (2012) Big-bird programs: Effect of strain, sex, and debone time on meat quality of broilers. *Poultry Science* 91: 248-254.

Cavani, C., Petracci, M., Trocino, A and Xiccato, G. (2009) Advances in research on poultry and rabbit meat quality. *Italian Journal of Animal Science* 8: 741-750.

Ferreira, T.Z., Casagrande, R.A., Vieira, S.L., Driemeier, D. and Kindlein, L. (2014) An investigation of a reported case of white striping in broilers. *Journal Applied Poultry Research* 23: 748-753.

Fletcher, D.L. (2002) Poultry meat quality. *World's Poultry Science Journal* 58: 131-145.

Fletcher, D.L. (2014) Further processing of poultry, in MEAD, G.C. (Ed) *Poultry Meat Processing and Quality*, pp. 108-134 (Florida, CRC Press).

Guetchom, B., Venne, D., Chorfi, Y (2012) Effect of extra dietary vitamin E on preventing nutritional myopathy in broiler chickens. *Journal Applied Poultry Research* 21: 548-555.

Havenstein, G.B., Ferket, P.R. and Qureshi, M.A. (2003a) Carcass composition and yield of 1957 versus 2001 broilers when fed representative 1957 and 2001 broiler diet. *Poultry Science* 82: 1509-1518.

Kuttapan, V.A., Brewer, V.B., Clark, F.D., Mckee, S.R., Meullenet, J.F., Emmert, J.L. and Owens, C.M. (2009) Effect of white striping on the histological and meat quality characteristics of broiler fillets. *Poultry Science* 88: 136-137.

Kuttapan, V.A., Brewer, V.B., Clark, F.D., Mckee, S.R., Meullenet, J.F., Emmert, J.L. and Owens, C.M. (2012a) Influence of growth rate on the occurrence of white striping in broiler breast fillets. *Poultry Science* 91: 2677-2685.

Kuttapan, V.A., Brewer, V.B., Mauromoustakos, A., Mckee, S.R., Emmert, J.L., Meullenet, J.F and Owens, C.M. (2013a) Estimation of factors associated with the occurrence of white striping in broiler breast fillets. *Poultry Science* 92: 811-819.

Kuttapan, V.A., Goodgame, S.D., Bradley, C.D., Mauromoustakos, A., Hargis, B.M., Waldroup, P.W and Owens, C.M. (2012b) Effect of different levels of dietary vitamin E (DL- α -tocopherol acetate) on the occurrence of various degrees of white striping on broiler breast fillets. *Poultry Science* 91: 3230-3235.

Kuttapan, V.A., Lee, Y.S., Erf, G.F., Meullenet, J.F., Mckee, S.R and Owens, C.M. (2012c) Consumer acceptance of visual appearance of broiler breast meat with varying degrees of white striping. *Poultry Science* 91: 1240-1247.

Kuttappan V.A., Brewer V.B., Apple J.K., Waldroup P.W., Owens C.M. (2013b) – Influence of growth rate on the occurrence of white striping in broiler breast fillets. *Poultry Science*, 91: 2677-2685.

Kuttappan V.A., Huff G.R., Huff W.E., Hargis B.M., Apple J.K., Coon C., Owens C.M. (2013c) – Comparison of hematologic and serologic profiles of broiler birds with normal and severe degrees of white striping in breast fillets. *Poultry Science*, 92: 339-345.

Kuttappan V.A., Shivaprasad H.L., Shaw D.P., Valentine B.A., Hargis B.M., Clark F.D., McKee S.R., Owens C.M. (2013a) – Pathological changes associated with white striping in broiler breast muscles. *Poultry Science*, 92: 331-338.

Lorenzi, M., Mudalal, S., Cavani, C. and Petracci, M. (2014) Incidence of white striping under commercial conditions in medium and heavy broiler chickens in Italy. *Journal Applied Poultry Research* 23: 754-758.

Macrae, V.E, Mahon, M., Gilpin, S., Sandercock, D.A. and Mitchell, M.A. (2006) Skeletal muscle fibre growth and growth associated myopathy in the domestic chicken (*Gallus domesticus*). *British Poultry Science* 47: 264-272.

Mahon, M. (1999) In: Poultry Meat Science. Richardson, R.I & Mead, G.C. (Eds), pp. 19-64 (CABI Publishing Oxon England).

Mazzoni M., M. Petracci, A. Meluzzi, C. Cavani, P. Clavenzani, F. Sirri. (2015). Relationship between pectoralis major muscle histology and quality traits of chicken meat. Poultry Science 94: 123-130.

Mitchell, M.A. (1999) In: Poultry Meat Science. Richardson, R.I. & Mead, G.C. (Eds), pp 65-98 (CABI Publishing Oxon England).

Mudalal, S., Lorenzi, M., Soglia, F., Cavani, C., & Petracci, M. (2015) Implication of white striping and wooden breast abnormalities on quality traits of raw and marinated chicken meat. Animal, 9: 728-734.

Nabeel Alnahhas, Cécile Berri, Marie Chabault, Pascal Chartrin, Maryse Boulay, Marie Christine Bourin, and Elisabeth Le Bihan-Duval (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 Genet.; 17: 61.

Petracci M., F. Sirri , M. Mazzoni , and A. Meluzzi (2013). Comparison of breast muscle traits and meat quality characteristics in 2 commercial chicken hybrids. Poultry Science 92: 2438–2447.

Petracci, M. , S. Mudalal , A. Bonfiglio , and C. Cavani (2013). Occurrence of white striping under commercial conditions and its impact on breast meat quality in broiler chickens. Poultry Science 92: 1670–1675.

Petracci, M., Bianchi, M. and Cavani, C. (2009) The European perspective on pale, soft, exudative conditions in poultry. Poultry Science 88: 1518-1523.

Petracci, M., Bianchi, M. and Cavani, C. (2010) Preslaughter handling and slaughtering factors influencing poultry products quality. World's Poultry Journal 66: 17-26.

Petracci, M., Bianchi, M., Mudalal, S. and Cavani, C. (2013a) Functional ingredients for poultry meat products. *Trends in Food and technology* 33: 27-39.

Petracci, M., Mudalal, S., Babini, E. and Cavani, C. (2014) Effect of white striping on chemical composition and nutritional value of chicken breast meat. *Italian Journal of Animal Science* 13: 179-183.

Petracci, M., Mudalal, S., Bonfiglio, A. and Cavani, C. (2013b) Occurrence of white striping under commercial conditions and its impact on breast meat quality in broiler chickens. *Poultry Science* 92: 1670-1675.

Petracci, M., S. Mudalal, F. Soglia and C. Cavani (2015). Meat quality in fast-growing broiler chickens. *World's Poultry Science Journal* 71: 363-374.

Picard, B., Lefaucheur, L., Berri, C. and Duclos, M.J (2002) Muscle fibre ontogenesis in farm animal species. *Reproduction Nutrition Development* 42: 415-431.

Potter Norman N., Hotchkiss Joseph. *Food Science*(1998). Fifth Edition. Springer Science, New York.

Barbut, S. (2009) Pale, soft, and exudative poultry meat Reviewing ways to manage at the processing plant. *Poultry Science* 88: 1506-1512.

Sandercock, D.A. and Mitchell, M.A (2003) Myopathy in broiler chickens: A role for Ca²⁺ activated phospholipase A(2). *Poultry Science* 82: 1307-1312.

Sandercock, D.A., Hunter, R.R., Mitchell, M.A. and Hocking, P.M. (2006) Thermoregulatory capacity and muscle membrane integrity are compromised in broilers compared with layers at the same age or body weight. *British Poultry Science* 47: 322-329.

Scheuermann, G.N., Bilgili, S.F., Tunzun, S. and Mulvaney, D.R. (2004) Comparison of Chicken genotypes: Myofiber number in pectoralis muscle and myostatin ontogeny. *Poultry Science* 83: 1404-1412.

Schreurs, F.J.G. (2000) Post-mortem changes in chicken muscle. *World's Poultry Science Journal* 56: 319-346.

Sihvo, H.K., Immonen, K and Puolanne, E. (2014) Myodegeneration with fibrosis and regeneration in the pectoralis major muscle of broilers. *Veterinary Pathology* 51: 619-623.

Siller, W.G. (1985) Deep pectoral myopathy: A penalty of succesful selection for muscle growth. *Poultry Science* 64: 1591-1595.

Solomon, M.B., Van Laack, R.L.J.M and Eastridge, J.S (1998) Biophysical basis of Pale, Soft, Exudative (PSE) pork and poultry muscle: a review. *Journal of Muscle Foods* 9: 1-11.