



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI UDINE

Dottorato di Ricerca in Scienze e Biotecnologie Agrarie
Ciclo XXVIII
Coordinatore: prof. Mauro Spanghero

TESI DI DOTTORATO DI RICERCA

**Impiego di insilati di mais nella alimentazione del suino pesante:
performance e integrità delle mucose gastriche**

DOTTORANDO
dott. Diego Capraro

SUPERVISORE
prof. Mauro Spanghero

ANNO ACCADEMICO 2015/2016

Abstract

The thesis was part of a project (Project Ager No. 2011-0280) aimed to test new feeding strategies for finishing heavy pigs able to improve animal welfare and reduce the environmental impact, without compromising growth, slaughter traits and meat quality.

The thesis is composed by two feeding trials where fibrous corn silages were fed to heavy pigs and by two studies, which used experimental data from different trials to analyse the impacts of new diets based on corn silages on main meat quality traits and on the development of gastric damages (ulcers).

The aim of a first feeding trial (trial 1) was to compare two dietary levels of whole ear corn silage (ES), fed in two physical forms (coarse or after wet milling), on growth, slaughter traits and stomach development of heavy finishing pigs. Fifty six “Italian Large White x Italian Duroc” (about 5 months of age and 78-80 kg of live weight (LW) were divided into pairs homogeneous and were kept in 28 pens (1.2 x 3 m, partially-slatted) equipped with two separate troughs to avoid competitions for feeding and with free access to water. Four dietary treatments resulted from the combination of two ES inclusion levels (300 and 400 g/kg DM, ES30 and ES40, respectively) and two physical forms of the silage (coarse and wet milled). Seven pairs of pigs were randomly assigned to each dietary treatment and the animals were slaughtered at an average LW of 163.0 Kg (± 1.92 kg). The coarse ES had particles longer than the milled silage (4.4 vs 2.7 mm) and when it was fed to pigs the pH of fecal samples were lower ($P < 0.01$) than that from pigs fed the milled ES, at both dietary inclusion levels (6.00 vs 6.20 for the ES30 diets and 5.97 vs 6.14 for the ES40 diets).

There were no significant differences in organic matter total tract digestibility, ADG, DMI and G:F ratio among the dietary treatments (0.81, 764 g/d, 77.1 g DM/kg LW^{0.75}, 0.266 g/g DM, on average respectively). The ES40 diets reduced the *Longissimus dorsi* thickness (56.4-59.8 vs 62.7-64.1 mm, $P < 0.011$) and increased the stomach weight (0.0040 vs 0.0038 of the LW, $P < 0.05$), while the coarse dimension of silage particles increased the DM content of the material in the stomach (from 142-171 to 179-183 g/kg DM, $P < 0.045$) and the surface of the pyloric region (from 214-216 to 225-232 cm², $P < 0.029$). The two dietary inclusion levels and physical forms of ES do not differentiate growth and slaughter traits of the heavy finishing pigs. However, the coarse form of the silage modifies the development of the stomach by increasing the internal surface of the pyloric region as a possible consequence of a longer retention time in the stomach.

In a second trial (trial 2) the aim was to test the inclusion of high cut whole plant corn silage (HCCS) in diets for finishing heavy pigs on digestibility, metabolic utilization, growth performance and slaughter traits. In two experiments a control diet (C, containing corn meal, barley meal, extracted soybean meal and wheat bran, 550, 250, 90 and 80 g/kg DM, respectively) was compared with a diet containing HCCS (200 g/kg on DM basis, CS) in substitution of wheat bran and part of corn meal.

In a first experiment 8 barrows (134.2 ± 5.8 kg of LW) were used in two periods cross over design with periods of 21 d, included 7 d of total collection and three cycles of 24 h each in a respiratory chamber. In a second experiment 28 barrows (89.5 ± 4.9 kg LW) were divided into pairs on the basis of LW and kept in 14 partially slatted pens (1.2×3 m) and fed with the experimental diets (7 pens/diet) until slaughter (an average LW of 170.9 ± 6.2 kg).

Diets differed for CP, NDF and P contents (137 vs 128, 138 vs 188 and 5.6 vs 5.0 g/kg DM, respectively for C and CS diets). A lower DM, OM, CP and energy CTTAD was measured for the CS diet (approximately -0.04). Overall P retention as percentage of P intake was higher for CS diet ($P=0.007$), while N retention was similar for the two diets (on average 38.0% of N intake). Pigs fed CS tended to have a lower retained energy (15.0 vs 17.0 MJ/d, $P<0.074$) and the estimated NE of corn silage was 8.47 MJ/kg DM.

In the second experiment pigs fed the CS diets had a lower daily gain (700 vs 765 g/d, $P<0.05$), a lower LW at slaughter (167 vs 175 kg, $P<0.05$) and a reduction in the weight of back fat (4.5 vs 5.4 kg, $P<0.05$). The inclusion of silage increased the size of the stomach (779 vs 692 g, $P<0.05$ and 1403 vs 1168 cm², $P<0.01$, respectively of weight and surface), the NDF concentration of stomach content (0.499 vs 0.289, $P<0.01$) and reduced the incidence of follicular gastritis (0.29 vs 1.14 n/pig, $P=0.010$).

The inclusion of 200 g/kg DM of HCCS in diets for finishing heavy pigs lowers digestibility and energy retention, and reduces growth rate and back fat deposition, but stimulates the stomach development, its filling with fibrous materials and reduces follicular gastritis.

To study the effects of dietary inclusion of corn silages on fatty acid composition of back fat and the weight loss of hams during the seasoning we used data from animals fed in a previous trial (Zanfi *et al.*, 2014) a control diet (dry corn meal, wheat bran and soya) and a diet where wheat bran and part of the dry corn were replaced up to 300 g/kg DM with WECS (ES30 diet.). The data set included also animals of trial 2, which were fed a similar control diet and a diet containing HCCS (200 g/kg DM). The inclusion of silages did not modified the hams weight losses during seasoning, while determined a significant increase of the saturated fraction (from

40.6 to 41.9 %, $P < 0.05$), mainly due to the increase of the C 18:0 fatty acid (from 14.3 to 15.2 %, $P < 0.01$). The inclusion of coarse corn silages in diets for heavy pigs has no detrimental effects on the weight loss during ham seasoning (range 30-31%), while it increments the saturated fatty acids in the back fat.

Finally, the macroscopic pathological examination of the internal mucosa of stomachs were analyzed together to determine the topographic distribution of gastritis lesions in pigs through an open source Geographic information systems (GIS) software analysis. The hyperplastic gastritis lesions had an average surface of 77.8 cm² and were mainly located in an oval shaped area of the fundus region of the stomach near the *Curvatura ventriculi major*. The follicular gastritis lesions had generally a smaller surface (40.3 cm²) and were concentrated in two distinct small areas of the pyloric region. The GIS analysis provided the opportunity to produce useful maps showing the distribution and characteristics of gastritis in pigs.

The overall results of the thesis support the possibility to utilize coarse and fibrous corn silages in feeding systems of finishing heavy pigs. Whole ear corn silage, fed coarse without milling, is a promising feed resource because it does not affect the growth performance and slaughter traits of pigs (even if at an inclusion rate of 40% DM) while it has potential advantages in terms of stomach health, back fat and ham quality and reduction of pollution and dietary costs. Whole plant corn silage should have similar dietary advantages, but requires to be used at low dietary inclusions (less than 20% DM) to minimize the negative impact on digestibility and growth rate.

Sommario

Premessa	1
Capitolo 1. Introduzione e obiettivi.....	3
1.1. L'alimentazione del suino pesante nell'ultima fase d'ingrasso	3
1.1.1 Lo stomaco del suino e le problematiche delle lesioni della mucosa.....	3
1.1.2 La restrizione alimentare	6
1.1.3 Impiego di alimenti fibrosi a granulometria grossolana e riduzione delle lesioni gastriche	9
1.1.4 Impiego di alimenti fibrosi e riduzione delle escrezioni.	18
1.2. Obiettivi e articolazione della tesi.....	22
Capitolo 2. Effect of physical form of whole ear corn silage (coarse vs wet milled) included at high dietary levels (30 vs 40 % dry matter) on performance of heavy finishing pigs.	25
Capitolo 3. Digestibility, metabolic utilization and effects on growth and slaughter traits of diets containing whole plant corn silage in heavy pigs.	43
Capitolo 4. Back fat fatty acid composition and hams weight losses during seasoning of heavy pigs fed whole ear or high cut whole plant corn silages.....	67
Capitolo 5. Topographic distribution of gastritis in heavy pigs by means of a Geographic information system (GIS) approach.	77
Capitolo 6. Commenti e conclusioni	86
Bibliografia	97

Premessa

Il suino è un animale monogastrico onnivoro, capace di trarre nutrimento da substrati alimentari molto diversi; in natura infatti è solito alimentarsi sia di parti di vegetali, che ama grufolare nel terreno ed estirpare, sia di piccoli animali. Un alimento particolarmente apprezzato sono ad esempio le ghiande, fonte alimentare valida che ancora oggi è utilizzata in sistemi di allevamento semi-estensivo che generalmente utilizzano razze autoctone (Comellini *et al.*, 2012).

Già nel I secolo d.C. Lucio Giunio Moderato Columella nella sua opera “De re rustica” descriveva l’allevamento del suino come semibrado, principalmente basato sullo sfruttamento dei sottoboschi ricchi in frutti e radici [...] *In mancanza di alberi si possono utilizzare i pascoli naturali, a preferenza in zone acquitrinose dove i maiali possono [...] scavare col grifo alla ricerca di lombrichi o delle radici dolci di piante acquatiche [...]. Quando è necessario, la dieta va integrata soprattutto con ghiande, poi con fave, orzo e altri cereali, alimentazione che assicura non solo un buon ingrassamento, ma anche carne saporita* (Malossini *et al.*, 2014).

La gestione del suino perdurò con queste tecniche fino al Basso Medioevo quando con l’urbanizzazione l’allevamento si fece sempre più confinato ed inserito nell’azienda agraria, ed iniziò un lento processo di modifica delle razze e delle tipologie di suino allevate.

Agli inizi del secolo scorso l’allevamento del suino si basava sullo sfruttamento dei prodotti di scarto delle colture e della trasformazione dei prodotti agricoli, nonché di avanzi dell’alimentazione umana (Bovolenta *et al.*, 2010), ma con l’aumento della richiesta di carne a partire dalla metà del ‘900, l’allevamento da rurale e domestico passa ad un livello industriale ed intensivo.

Con la selezione di razze performanti e l’evoluzione delle tecniche di allevamento, anche l’alimentazione ha subito una profonda modificazione. Nei moderni allevamenti si utilizzano quasi esclusivamente alimenti nobili quali farine di cariossidi di cereali macinate molto finemente che, opportunamente integrate sotto i vari aspetti nutrizionali, permettono di far ottenere elevate performance di crescita. In questo modo, si riducono i tempi di permanenza in allevamento e la somministrazione degli alimenti può essere realizzata mediante sistemi meccanizzati di distribuzione. Si è inoltre diffusa la pratica di un’alimentazione sempre più basata su prodotti mangimistici finiti che se da un lato assicurano un elevato livello tecnologico di preparazione delle diete, sia sotto il profilo nutrizionale ed igienico-sanitario, dall’altro aumentano considerevolmente i costi di alimentazione e pongono qualche perplessità in termini di provenienza delle materie prime impiegate (tracciabilità). L’evoluzione delle tecniche

alimentari, indirizzata sempre più verso le performance, ha fatto dimenticare l'habitus alimentare originario di questo animale ed è forse necessario per motivi diversi (costi di alimentazione, esigenze di tracciabilità, richieste di benessere degli animali allevati, ...) riconsiderare almeno alcuni aspetti della sua alimentazione. Il presente lavoro di tesi si propone proprio di dare un contributo alla ridefinizione di programmi alimentari, che, recuperando almeno in parte, un comportamento alimentare originario, possano prospettare soluzioni alimentari indirizzate alla economicità, alla sostenibilità e al benessere degli animali allevati.

La tesi ha i propri obiettivi, necessariamente specifici e circoscritti, ma si colloca in un filone di ricerca innovativo e moderno: infatti la ridefinizione dei programmi alimentari degli allevamenti intensivi è stata recentemente proposta come una ineludibile evoluzione della ricerca in questo settore nella comunità scientifica dei nutrizionisti degli animali (Makkar e Ankars, 2014). Infatti i programmi alimentari attualmente applicati sono, in un contesto di crescente scarsità delle risorse, molto elaborati e sofisticati in termini di apporti di diversi inputs (energia, superficie, acqua, nutrienti, etc.) e spesso trascurano le emergenti richieste socio-economiche delle collettività in materia di allevamento animale. Secondo questi autori la ricerca si orienterà verso la definizione di “*diete sostenibili*” per gli animali d'allevamento (“*three P dimension of sustainability Planet, People and Profit complemented with the Ethic aspect of feed usage*”). Si tratta di diete in cui sarà attenuata la finalità semplicemente indirizzata al *Profitto* di allevamento (efficienza, conversione alimentare, capacità di crescita, etc.), a favore di obiettivi che siano di interesse per il *Pianeta* (protezione dell'ambiente e dei territori e difesa delle risorse naturali, uso di alimenti prodotti in loco, etc.), per le *Popolazioni* (accettabilità socio-culturale delle pratiche di allevamento, rispetto delle biodiversità, uso di alimenti zootecnici non competitivi con quelli dell'uomo, etc.) e con un forte accento agli aspetti etici (salvaguardia del benessere animale e sicurezza alimentare).

Capitolo 1. Introduzione e obiettivi

1.1. L'alimentazione del suino pesante nell'ultima fase d'ingrasso

1.1.1 Lo stomaco del suino e le problematiche delle lesioni della mucosa

Lo stomaco è un organo dell'apparato digerente essenziale per i processi di digestione e nel suino pesante ha una capacità di 3-6 litri e un peso di circa 500-700 g, pari a circa lo 0,4% del peso vivo (Mason *et al.*, 2013). Può essere suddiviso in 4 aree esofagea (A), cardiaca (B), fundica (C) e pilorica (D) (Figura 1, van Barneveld and Hewitt, 2003; Foto 1).

Le dimensioni dello stomaco sono tuttavia piuttosto variabili in funzione delle abitudini alimentari, infatti con diete particolarmente fibrose e grossolane le dimensioni dell'organo aumentano in maniera apprezzabile, specialmente nella parte pilorica, che è quella in connessione con l'intestino.

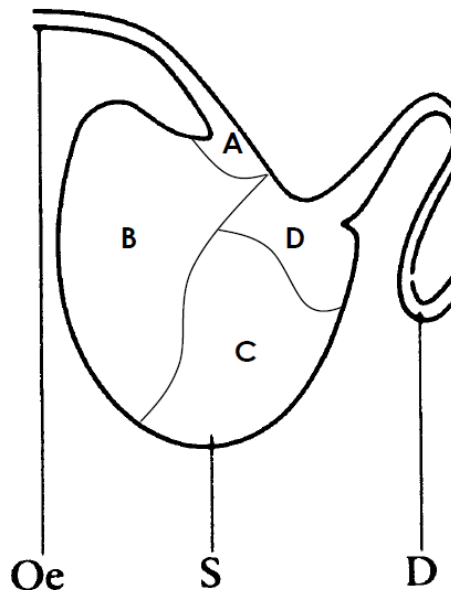


Figura 1. Illustrazione delle mucose interne dello stomaco (van Barneveld and Hewitt, 2003). **Oe:** Esofago; **S:** Stomaco; **A:** Mucosa esofagea; **B:** Mucosa cardiaca; **C:** Mucosa fundica; **D:** Mucosa pilorica; **D:** Duodeno

Nello stomaco viene secreto il succo gastrico, costituito da acqua, acido cloridrico (HCl, responsabile dell'abbassamento del pH anche a valori di 2,5) e pepsina, uno dei più importanti enzimi per la digestione delle proteine. Viene secreto anche un muco che protegge le pareti dello stomaco dall'azione corrosiva dell'acido cloridrico il quale, a sua volta, ha molteplici funzioni poiché, mantenendo l'acidità funge da batteriostatico, denatura le proteine e converte il pepsinogeno in pepsina. A livello stomacale si attua prevalentemente un'azione denaturante sulle proteine in quanto i lipidi vengono scarsamente modificati e i glucidi, la cui digestione

inizia già a livello orale, continuano ad essere scissi a maltosio e a glucosio finché la pepsina non determina l'interruzione dell'azione degli enzimi salivari (Øystein *et al.*, 2003). La denaturazione proteica avviene principalmente nella parte caudale dell'organo, ma, se l'animale ingerisce elevate quantità di cibo, qualche attività può verificarsi anche nella parte craniale.

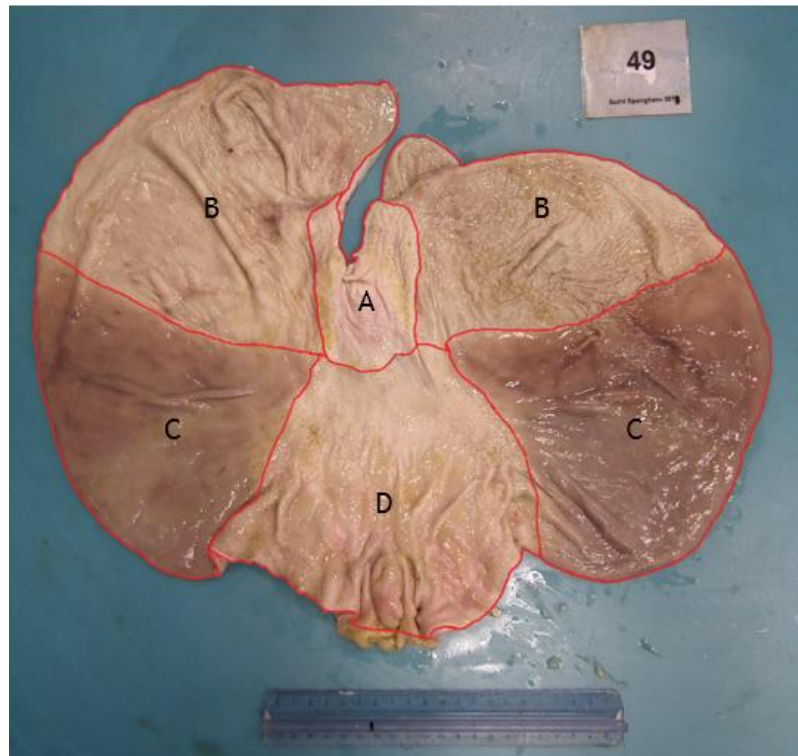


Foto 1. Suddivisione interna della mucosa gastrica interne dello stomaco. A: esofagea; B: cardiale; C: fundica; D: pilorica

Quest'organo può essere soggetto a patologie di tipo infiammatorio, tra le più comuni troviamo le gastriti, che possono progredire a stadi di maggiore gravità fino a raggiungere le lesioni di tipo ulcerativo. Infatti con il rapido svuotamento dello stomaco il succo gastrico rimane a contatto con la mucosa creando così dei danneggiamenti inizialmente superficiali per poi progredire verso gli strati profondi. Queste lesioni si verificano soprattutto sul margine della mucosa esofagea poiché in questa area non sono presenti le cellule secretorie di muco (Cappai *et al.*, 2013a) che proteggono l'epitelio dai danneggiamenti. Una rappresentazione fotografica delle lesioni gastriche è riportata in figura 2 da cui si può osservare la cheratinizzazione diffusa dell'area esofagea, alcune erosioni superficiali e nei punti più critici, delle ulcere sanguinanti (Cappai *et al.*, 2013a).

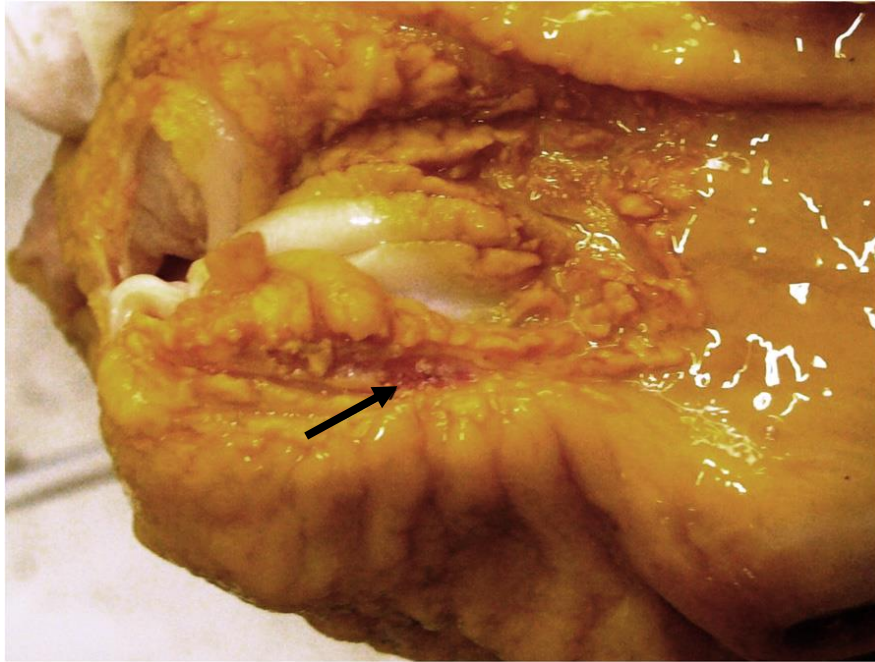


Figura 2. Ulcere gastriche con emorragia ed erosione delle creste gastriche nella mucosa esofagea. Presenza di ipercheratosi (Cappai *et al.*, 2013a).

Inizialmente le aree su cui agiscono i contenuti gastrici fluidi appaiono ruvide, indurite per poi gradatamente erodersi fino all'ulcerazione. L'ulcera gastrica di solito ha un decorso cronico e sul piano clinico comporta un ritardato accrescimento, dimagrimento, appetibilità ridotta e incostante, difficoltà al movimento e predispone molto gli animali a malattie respiratorie. Questo tipo di lesione è anche causa di dolori addominali, il suino assume una postura particolare con inarcamento del dorso e digrignamento dei denti. Se l'ulcera provoca sanguinamento può insorgere anemia e le feci assumono una colorazione scura, fino a nera nei casi più gravi, e presentano un consistenza liquida.

La problematica delle lesioni gastriche è piuttosto importante nell'allevamento del suino intensivo e in una recente indagine svolta nel Regno Unito (Swaby e Gregory, 2012), nella quale sono stati esaminati quasi 10.000 stomaci subito dopo la macellazione, è stata rilevata una incidenza di circa l'80% di ulcere esofagee o modificazioni pre-ulcerative come l'ipercheratosi. Le frequenze di ulcere gravi oppure di assenza di ulcere sono risultate modeste (6 e 21%, rispettivamente), mentre nella prevalenza dei casi si sono rilevate lesioni di media intensità (73%). Lo studio indica inoltre che vi è una maggiore incidenza di ulcere severe (73%) in stomaci di suini tenuti a digiuno (almeno da 15 ore) rispetto a quelli alimentati prima della macellazione (27%). Anche in una recente indagine condotta da Omotosho *et al.* (2015)

l'incidenza delle lesioni in stomaci vuoti, o con un scarso contenuto di alimento, è stata superiore a quella di suini con un buon grado di riempimento gastrico alla macellazione (incidenza di lesioni del 77 e 52%, rispettivamente). Tuttavia, la pratica di limitare l'assunzione di cibo prima dell'abbattimento è diffusa poiché consente di ridurre l'incidenza dei casi di morte e di vomito durante il trasporto (Eikelenboom *et al.*, 1991).

Un'indagine molto recente che ha riguardato 11 allevamenti di suini pesanti del Piemonte (Barbera *et al.*, 2014) conferma una elevata diffusione delle lesioni allo stomaco: su 11 allevamenti e per un totale di circa 500 suini esaminati al macello, l'incidenza di lesioni gastriche medie era del 52% con una notevole variabilità tra allevamenti (da incidenze minime del 15 al 80%). Anche un altro studio sempre condotto su suini pesanti (Di Martino *et al.*, 2013) riporta un'incidenza di ulcere gastriche ragguardevole (47%).

In letteratura la valutazione della gravità delle gastriti o delle ulcere non risulta codificata e non sono riportate procedure standardizzate, si opera solitamente con scale di punteggio, che a seconda dell'autore, variano da un valore di 0 (assenza di lesioni) fino a 4 (Di Martino *et al.*, 2013) oppure 11 punti d'intensità massima (Nielsen e Ingvarsen, 2000). Questa variabilità di valutazione non rende semplice il confronto tra i risultati ottenuti da diversi autori.

Nei diversi lavori esaminati non vengono inoltre fornite informazioni sulla localizzazione delle lesioni della mucosa gastrica nelle diverse regioni della superficie dello stomaco. Si tratta di una informazione che potrebbe essere interessante invece dal punto di vista metodologico qualora si volesse procedere con campionamenti rapidi e sistematici a livello di macello. In queste condizioni infatti il prelievo dello stomaco intero, il suo svuotamento ed un accurato esame di tutta la superficie per identificare le lesioni limita, in maniera rilevante, la numerosità dei rilievi eseguibili per ragioni di tempo, di complessità e di costo. Qualora invece alcune tipologie di lesioni avessero una localizzazione in aree circoscritte delle regioni dello stomaco e questa distribuzione fosse nota allora si potrebbe operare con un semplice prelievo della mucosa gastrica in aree ben delimitate dell'organo senza dover rimuoverlo.

1.1.2 La restrizione alimentare

Durante la crescita dei suini, si hanno notevoli modifiche della composizione tissutale e dell'accrescimento, con un aumento progressivo della adipogenesi (ingrasso), la riduzione della sintesi proteica e delle esigenze di minerali per la formazione dello scheletro. Per assecondare la modifica dei fabbisogni alimentari, nei programmi di razionamento, vengono opportunamente variate la quantità e qualità degli alimenti somministrati agli animali (si parla

di “piani alimentari”) e queste modifiche possono anche tenere conto, specialmente nella ultima fase di ingrasso, anche delle esigenze di qualità delle carni.

Le quantità di mangimi e miscele alimentari somministrate ai suini all’ingrasso vengono progressivamente aumentate durante la prima fase di crescita (da 30 a 100 kg di peso vivo), mentre nella fase di ingrasso vero e proprio (da 100 a 160 kg di peso vivo) si tende a rallentare l’incremento di somministrazione e limitare l’ingestione volontaria di alimenti (alimentazione razionata). Durante queste ultime fasi di allevamento si effettuano razionamenti che limitano l’ingestione di mangime al 2,0-3,0% del peso vivo, equivalente a circa 2,5-3,4 kg di mangime al giorno (Mordenti *et al.*, 1992).

Questi piani alimentari, ed in particolare la limitazione della ingestione nella fase finale, vengono adottati per contenere l’eccessiva tendenza all’ingrassamento degli animali e per evitare una crescita troppo veloce. Infatti, sotto il profilo qualitativo delle carni, una intensità di crescita elevata determina la formazione di carni immature ed è questo il motivo per il quale nel disciplinare Parma-San Daniele si impone, non solo un peso, ma anche una età minima dei suini (età minima di 9 mesi) alla macellazione (Disciplinare di produzione della denominazione d’origine protetta, “Prosciutto di San Daniele”, MIPAAF, 2007).

È quindi necessario macellare suini a pesi vivi elevati (160 kg) ed ad età più avanzate (minimo 9 mesi) per consentire il raggiungimento di adeguati rapporti tra le componenti corporee magre e grasse e un soddisfacente grado di maturità delle carni, garantendo così qualità ed una corretta produzione del prosciutto crudo (Bosi e Russo, 2004). Infatti, diversi studi hanno dimostrato che una elevata percentuale di tagli magri realizzata con crescite di elevata intensità che portano gli animali al peso di macellazione ad età troppo precoci sono state associate ad alte perdite ponderali delle cosce durante il processo di stagionatura e a danni alle proprietà sensoriali del prosciutto crudo stagionato (Lo Fiego *et al.*, 2005; Bosi e Russo, 2004; Nanni Costa *et al.*, 1993).

Oltre al problema delle carni immature, l’esigenza di rallentare la crescita con una limitazione della ingestione deriva dalla necessità di regolare lo stato di ingrassamento degli animali ed evitare un eccessivo deposito adiposo alla macellazione, che a livello di coscia interferisce con i processi di stagionatura. A questo riguardo i disciplinari di produzione Parma - San Daniele impongono che ai fini delle produzioni di prosciutti DOP, le carcasse degli animali debbano ricadere nelle categorie intermedie, U, R, O, scartando invece la E (carne magra >55%) e la P (carne magra <40%), le categorie che comprendono cosce comunemente chiamate “grassone” e “magrone” (Rossi, 2014).

Il razionamento alimentare nella ultima fase di ingrasso dei suini, pur assicurando il rispetto di adeguati standard di qualità per le nostre produzioni DOP, può contribuire a compromettere lo stato di benessere degli animali modificandone il comportamento e favorendo la comparsa di lesioni gastriche. Infatti, come è stato da tempo dimostrato negli studi condotti da Robert *et al.* (1991), la limitazione della quantità di alimento somministrato aumenta la frequenza di comportamenti stereotipati o anomali, come mordere coda od orecchie di altri soggetti, rispetto quelli alimentati *ad libitum* (Figura 3).

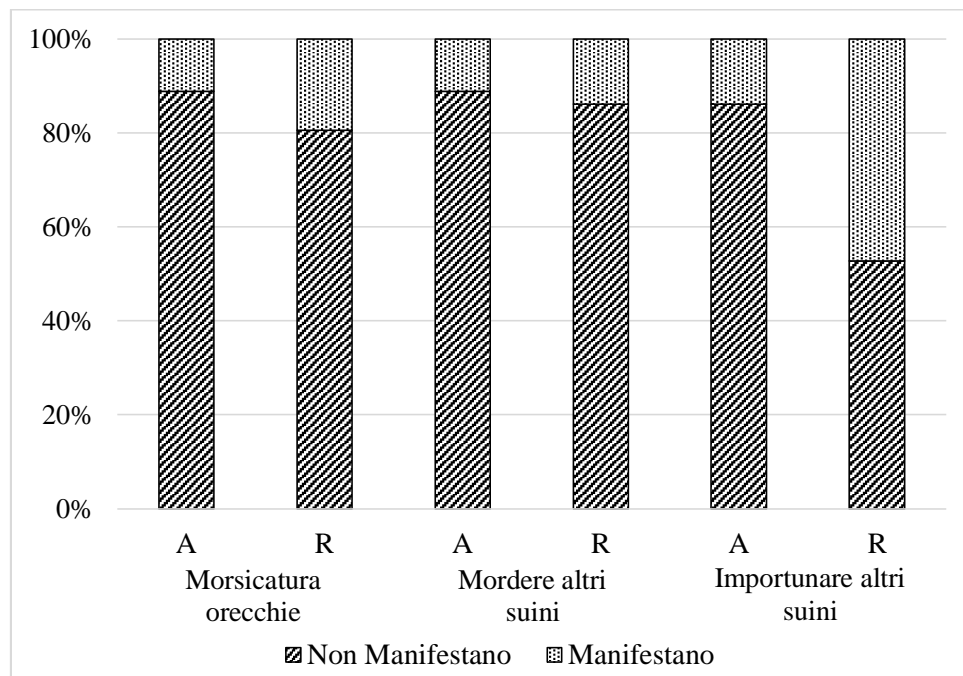


Figura 3. Percentuale di animali che manifestano e che non manifestano comportamenti stereotipati divisi in tipo di alimentazione (A: *ad libitum*; R: razione) 2 ore prima dell'alimentazione (Robert *et al.*, 1991).

Analizzando poi gli stomaci dopo la macellazione, lo studio evidenzia che il tipo di somministrazione degli alimenti condiziona l'incidenza delle patologie gastriche e che l'alimentazione razione aumenta la frequenza di lesioni gravi rispetto a quella *ad libitum*. Infatti com'è possibile osservare in figura 4 le ulcere recenti o croniche vengono trovate nel 30% degli animali con alimentazione razione rispetto al 3% di quelli alimentati *ad libitum*, mentre gli animali che presentano stomaci sani diminuiscono dal 70 al 60% adottando la restrizione alimentare (Robert *et al.*, 1991).

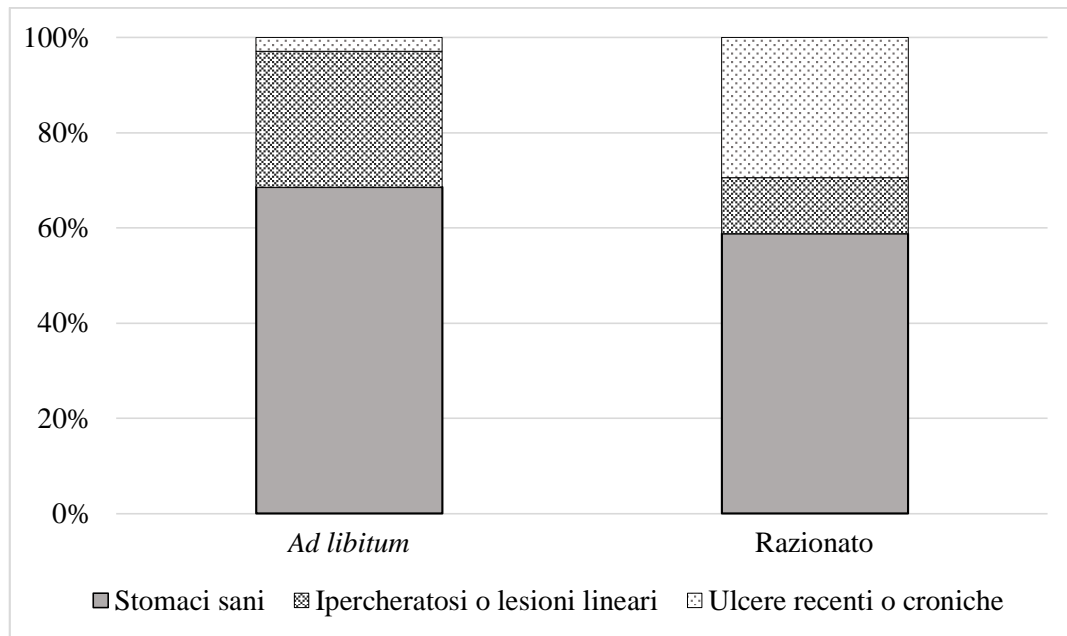


Figura 4. Percentuale di ulcere gastriche rilevate nei suini in relazione del tipo di somministrazione: *ad libitum* e razione. (Robert *et al.*, 1991).

1.1.3 Impiego di alimenti fibrosi a granulometria grossolana e riduzione delle lesioni gastriche

Una granulometria fine della razione favorisce l'utilizzazione digestiva del suino in tutte le diverse fasi di accrescimento in quanto, al diminuire delle dimensioni delle particelle dell'alimento, si ha una maggiore superficie d'attacco da parte degli enzimi digestivi e quindi una migliore digestione ed assorbimento (Wondra *et al.*, 1995a).

Negli studi di Wondra *et al.* (1995a; 1995b) questo effetto è stato dimostrato sia negli animali adulti che nei suini in accrescimento: nelle scrofe in lattazione una riduzione della granulometria media da 1,200 a 0,400 mm della dieta ha determinato un miglioramento della digeribilità del 6-8% della energia e della proteina. Similmente nei suini in crescita una granulometria di 0,400 rispetto ad una di 1,000 mm ha determinato un miglioramento della digeribilità e delle performance di crescita. Questi effetti vengono confermati anche da pubblicazioni più recenti, come quella di Rojas e Stein (2015), che, confrontando diete con granulometrie da 0,865 a 0,339 mm, evidenziano l'aumento di digeribilità dell'energia e dell'amido con le miscele a granulometria più fine. Anche Ball *et al.* (2015) mettendo in relazione una dieta fine e una grossolana su suini leggeri ottiene una migliore digeribilità di sostanza secca, energia e proteina, con un miglioramento della conversione alimentare.

Tuttavia, un'eccessiva finezza dell'alimento (particelle con dimensione < 0,500 mm) provoca una maggiore fluidità del contenuto dello stomaco (con abbondante secrezione di acido cloridrico) e le sostanze acide vanno a lambire la parte prossimale vicino all'esofago causando una cheratinizzazione della mucosa (indurimento) che diventa più suscettibile alla formazione di ulcere. Granulometrie troppo fini provocherebbero un maggior grado di rimescolamento della massa contenuta nello stomaco e di conseguenza una esposizione più prolungata della mucosa della *pars oesophagea* a materiale (di provenienza distale) caratterizzato da un pH particolarmente basso. Inoltre l'eccessiva velocità di svuotamento dello stomaco, indotta dalle farine fini, favorirebbe la risalita anche di succhi biliari fino alla mucosa della *pars oesophagea*, sulla quale agirebbero favorendo l'instaurarsi di fenomeni erosivi.

Il ruolo della granulometria fine quale responsabile delle lesioni gastriche nel suino è stato dimostrato in studi che risalgono ormai a molti decenni fa. Maxwell *et al.* (1970) infatti, utilizzando diete macinate a differenti dimensioni e somministrate in maniera razionata, dimostra come le diete macinate finemente portino ad uno svuotamento molto veloce dello stomaco prolungando il tempo di contatto tra succhi gastrici e mucose ed incrementando così il rischio di lesioni. Una ulteriore indagine riguardo alla correlazione tra ulcere e granulometria è stata svolta da Eisemann e Argenzio (1999) che hanno effettuato uno studio utilizzando granulometria diversa (0,886 e 0,528 mm) valutando le lesioni dal punto di vista morfologico ed istologico. Gli studiosi mettono in evidenza come l'uso di una granulometria superiore possa ridurre la presenza di lesioni sia morfologiche che istologiche (Tabella 1). Inoltre l'aumento della granulometria permette un maggiore trattenimento della massa alimentare nello stomaco garantendo così una maggiore protezione della mucosa dall'attacco dei succhi gastrici.

La granulometria delle diete risulta un argomento ancora molto attuale e un ricercatore belga in due lavori recenti (Millet *et al.*, 2010 e 2012) ha messo in risalto come ci sia uno stretto legame tra granulometria e contenuto di fibra delle razioni nella prevenzione delle lesioni gastriche. Nei suoi esperimenti sono state poste a confronto diete con livelli diversi di fibra (da 4 a 9% di fibra grezza, da 10,3 a 17,3% fibra neutro detersa, NDF), diverso livello di macinazione (1,300 e 6,000 mm; Millet *et al.*, 2010) e di differenti dimensione media delle particelle (da 0,440 a 0,750 mm; Millet *et al.*, 2012).

Tabella 1. Caratteristiche degli stomaci e frequenza delle lesioni in suini^a alimentati con diete a differenti granulometrie (Eisemann e Argenzio, 1999).

	Granulometria della dieta		SEM	P
	elevata 0,886mm	ridotta 0,528 mm		
Stomaco				
Peso, g	572	543	16	NS ^b
% sul peso vivo	0,61	0,56	0,18	0,10
Contenuto, g	869	980	169	NS ^b
Sostanza secca, g	261	153	63	NS ^b
Punteggio delle lesioni				
Morfologico	2,12	5,42	0,41	0,001
Istologico	1,96	3,21	0,44	0,10

^aMedie di valori di 12 suini alimentati singolarmente.

^bNS, $P > ,10$

I risultati, riassunti nella tabella 2, dimostrano come nelle diete a bassa ed in quella ad alta fibrosità macinata, l'effetto dei due fattori sia nullo, con un numero di lesioni riscontrate molto simile tra le diete (Millet *et al.*, 2010). Viceversa l'utilizzo di un alto contenuto di fibra ad una granulometria elevata porta ad una diminuzione delle lesioni e in particolare per quelle di media intensità (Millet *et al.*, 2012).

Molto recentemente un gruppo di ricerca italiano (Cappai *et al.*, 2013b) ha ottenuto dei risultati che confermano come l'eccessiva macinazione possa portare ad una maggiore suscettibilità dello stomaco ad essere lesionato dalle ulcere. In questo studio sono state utilizzate una dieta pellettata, la cui percentuale di particelle molto fini (inferiori a 0,400 mm) e quelle grossolane (>1,400mm) risultavano rispettivamente del 42,6 e 14,1%, ed una macinata grossolanamente dove le due frazioni erano 10,1 e 60,8%. Nonostante la numerosità statistica limitata, lo studio rileva come l'uso della dieta pellettata provochi più ulcere rispetto alla dieta macinata grossolanamente, infatti sono state riscontrate in 13 suini su 21, di cui 2 erano sanguinanti.

Tabella 2. Frequenza delle lesioni riscontrate, per valori d'intensità (da 0 a 5), sulla mucosa gastrica in funzione del contenuto di fibra, dell'intensità di macinazione della dieta e della dimensione media delle particelle (Millet *et al.*, 2010; 2012).

Fibrosità Granulometria	Bassa		Alta	
	Fine	Grossolana	Fine	Grossolana
Millet <i>et al.</i> , 2010				
Punteggio				
Lesioni 0	4,3	0,0	0,0	26,1
Lesioni 1	4,3	4,3	30,4	39,1
Lesioni 2	56,5	60,9	47,8	26,1
Lesioni 3	21,7	21,7	4,3	4,3
Lesioni 4	4,3	4,3	0,0	4,3
Lesioni 5	8,7	8,7	17,4	4,3
Millet <i>et al.</i> , 2012				
Lesioni 0	4,3	2,1	0	46,8
Lesioni 1	8,5	12,8	25,5	27,7
Lesioni 2	55,3	53,2	59,6	19,1
Lesioni 3	21,3	17	6,4	2,2
Lesioni 4	4,6	8,5	0	2,2
Lesioni 5	6,4	6,4	8,5	2,2

Un'indicazione, anche se indiretta, del ruolo protettivo che materiali grossolani possano avere a livello gastrico è rappresentato dai risultati ottenuti da Di Martino *et al.* (2013), il quale ha utilizzato la paglia come materiale manipolabile all'interno dei box dei suini e successivamente confrontando il numero di lesioni riscontrate tra suini con o senza la possibilità di ingerire paglia. È stato visto che anche ad ingestioni di paglia piuttosto basse (70g/d/capo) si realizza un'efficace azione protettiva nei confronti delle lesioni. In questo studio è stato possibile dimostrare (Tabella 3) come la disponibilità di paglia possa migliorare il numero di suini sani senza lesioni gastriche, portando da 3,9% i suini senza lesioni, tra quelli senza la possibilità di ingerire paglia, ad un 24,5% di suini sani tra quelli che invece hanno avuto l'aggiunta. Inoltre c'è un dimezzamento per quanto riguarda la ulcera di elevata intensità.

Tabella 3. Percentuali di lesioni gastriche in stomaci di suini di 170kg alimentati senza o con arricchimento di paglia (Di Martino *et al.*, 2013).

	% lesioni gastriche	
	Diete senza paglia	Diete con paglia
- assenza	3,9	28,5
- bassa	33,0	39,6
- media	30,5	15,2
- elevata	32,7	16,7

Si può sostenere, dunque, che anche l'utilizzo di paglia, sebbene consumata in piccola quantità, può contribuire al miglioramento del benessere dello stomaco del suino, dimezzando di fatto l'incidenza delle lesioni gastriche e garantendo agli animali un maggior grado di benessere. Infine, vanno menzionate le sperimentazioni condotte dal gruppo di Udine che ha aumentato le dimensioni medie di una dieta a base di mais, soia e crusca sostituendoli con un pastone integrale di spiga di mais non macinato (Mason *et al.*, 2013, Foto 2 e 3).



Foto 2. Ripartizione del pastone integrale di spiga di mais in 4 frazioni granulometriche utilizzando un setaccio a quattro strati (Penn State University®)



Foto 3. Pastone integrale di spiga insilato in un silo a trincea ed utilizzato nelle prove sperimentali.

L'uso del pastone ha determinato un aumento del peso dello stomaco ed un aumento della superficie totale ed in particolare della zona pilorica (Tabella 4), la quale risulta essere la responsabile della ritenzione del materiale. La maggior quantità di alimento indigerito, presente nello stomaco dei suini alimentati con diete contenenti pastone, indica che si è verificato un tasso di svuotamento gastrico più lento e questa condizione è coerente con gli esperimenti precedenti che confrontano diete grossolane e diete triturate finemente (Maxwell *et al.*, 1970). Nello stesso studio (Mason *et al.*, 2013), dall'analisi del contenuto stomacale è stata rilevata una corrispondenza tra la sua composizione ed il trattamento dietetico: il contenuto dello stomaco risultava meno fluido e conteneva più sostanza secca nei suini che hanno ricevuto la dieta contenente 30% di pastone integrale rispetto ai suini alimentati con la dieta di controllo; i suini che hanno assunto dieta con l'inclusione del 15% sono risultati, invece, ad un livello intermedio. Inoltre, gli animali alimentati con diete sperimentali hanno mostrato una ritenzione selettiva di particelle fibrose ed il contenuto di NDF nello stomaco (35-36% della ss) era superiore rispetto a quello ottenuto con la dieta di controllo (23% della ss). Per quanto riguarda le lesioni macroscopiche, in nessun caso qui analizzato sono state rilevate ulcerazioni gravi, ma solamente diversi tipi di gastrite. In generale il punteggio relativo sia alla gastrite follicolare

che iperplastica è risultato minore negli stomaci alimentati con pastone integrale. Tuttavia è noto l'effetto depressivo che le componenti fibrose esercitano in tutti gli animali, ma in particolar modo sulla digeribilità delle diete degli animali monogastrici.

Tabella 4. Caratteristiche dello stomaco, del contenuto stomacale e numerosità di lesioni riscontrate nella dieta di controllo e nelle diete con l'inclusione di 15 e 30% di pastone integrale di spiga di mais (Mason *et al.*, 2013).

	Dieta			SEM	P
	C	15	30		
Stomaco					
Peso, g	655,8	678,3	692,2	14,9	0,247
Area totale, cm ²	1261	1398	1356	161	0,291
Area pilorica, %	20,4	21,7	23,8	0,71	0,011
Contenuto stomacale					
Peso, g	1142	1159	1200	96	0,910
NDF, % SS	22,8 ^b	36,1 ^a	35,3 ^a	1,46	0,011
Lesioni gastriche, n/suino					
Gastriti follicolari	1,50 ^a	0,14 ^b	0,21 ^b	0,16	0,001
Gastriti iperplastiche	2,07	1,43	1,07 ^b	0,36	0,172
Punteggio della lesione, punteggio/suino	0,085 ^a	0,043 ^b	0,029 ^b	0,013	0,019

^{a-c} Le medie all'interno della stessa riga con diverse lettere agli apici differiscono significativamente ($P < 0,05$).

Nonostante questo alcuni studi condotti all'estero, come quello condotto da Noblet e La Groff, (2001), hanno comparato suini in crescita con animali adulti ed hanno chiaramente dimostrato che l'effetto depressivo è attenuato negli animali adulti rispetto a quelli in crescita. Infatti come viene illustrato nella figura 5, l'aumento del contenuto di NDF determina una riduzione di digeribilità della dieta e questo decremento risulta molto più marcato nei suini in accrescimento rispetto alle scrofe.

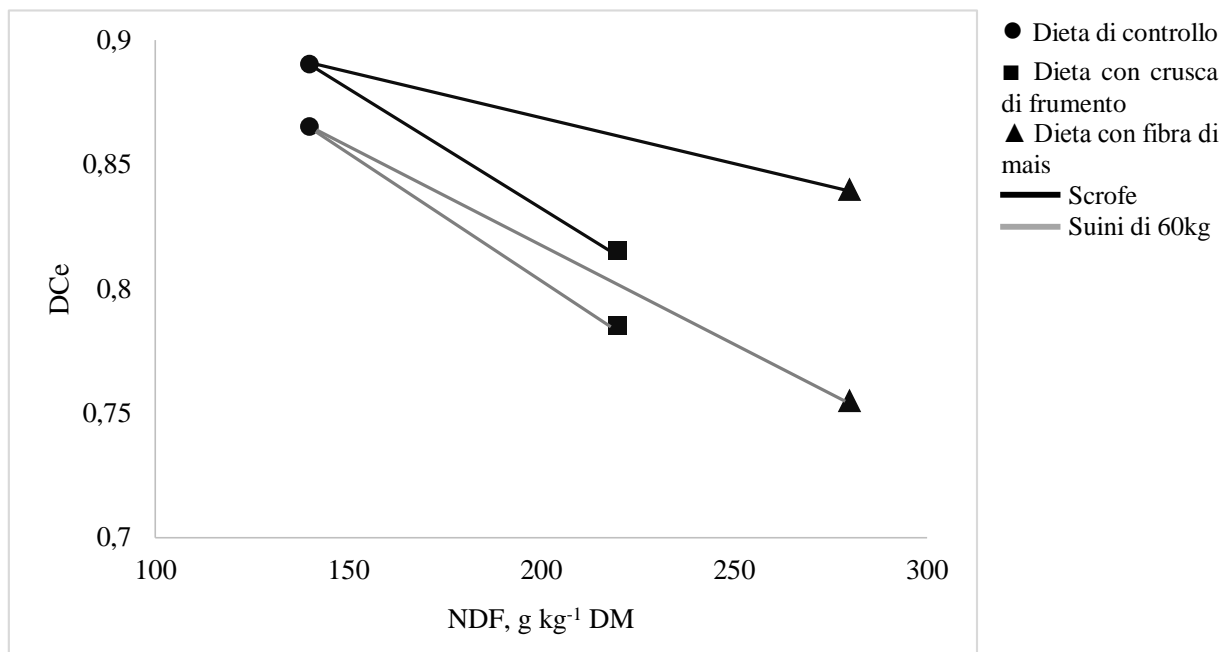


Figura 5. Effetto dell'aggiunta di crusca di frumento o fibra di mais nella dieta base o di controllo sulla digeribilità energetica in suini di 60kg e scrofe adulte (Noblet e Le Goff., 2001).

Sulla base di questi risultati, è stato ipotizzato che nelle ultime fasi di crescita del suino pesante, quando l'animale ha realizzato un elevato sviluppo corporeo, possa tollerare una moderata inclusione di fibra poiché è in grado di utilizzarla discretamente.

Sulla base di questa ipotesi, i ricercatori dell'Università di Milano hanno iniziato programmi di ricerca finalizzati a valutare l'impiego di alimenti fibrosi nella alimentazione del suino pesante. Galassi *et al.* (2005), ha effettuato una prova di digeribilità in animali in crescita, da 105 a 160 kg; nel lavoro sono state utilizzate 4 differenti diete, un controllo (con 13,5% di NDF) e tre diete sperimentali. Come fonti fibrose la prima dieta sperimentale conteneva crusca macinata, con 18,4% di NDF, la seconda includeva crusca intera e 17,7% di NDF, la terza dieta contenente polpe di barbabietola aveva 17,2% di NDF. Prendendo in considerazione l'effetto delle diete fibrose, i risultati ottenuti dimostrano come all'aumentare del peso dell'animale, le componenti della dieta vengano meglio digerite (Tabella 5). Infatti la digeribilità della sostanza secca passa da 84,2% negli animali di 105kg a 89,5% negli animali di 160kg, inoltre la digeribilità di fibra grezza e di NDF sono aumentate di 7,2 e 6,0 punti percentuali, rispettivamente.

Tabella 5. Digeribilità apparente (%) di diete con elevata fibrosità a pesi diversi dei suini (Galassi *et al.*, 2005).

	Peso medio suini, kg				SEM
	105	122	141	160	
Digeribilità apparente, %					
- Sostanza secca	84,2 ^a	84,1 ^a	84,8 ^a	86,5 ^b	0,55
- Sostanza organica	86,3 ^a	86,4 ^a	87,0 ^{ab}	88,5 ^b	0,51
- Estratto etereo	75,5 ^a	77,5 ^a	84,9 ^b	87,0 ^b	2,02
- Azoto	81,8 ^a	82,7 ^{ab}	84,5 ^b	84,7 ^b	0,76
- NDF	56,2 ^a	56,6 ^a	58,8 ^{ab}	62,2 ^b	1,62

I valori nella stessa riga con diversi esponenti differiscono significativamente ($P < 0,05$)

Anche in una prova più recente (Zanfi e Spanghero, 2012), nella quale furono testate diete con tenori crescenti in NDF (da 12,7 a 15,3%) includendo il 15 o 30% di pastone di spiga integrale in sostituzione della farina di mais, si è osservato che nelle età giovanili (35-85 kg di peso circa) le diete fibrose erano scarsamente digerite rispetto al controllo. Testando la digeribilità successivamente in fasi di vita più avanzate (a circa 135 kg di peso vivo), le differenze non risultavano più significative e si riducevano dimostrando una accresciuta capacità di digestione della fibra del suino in fase finale di ingrasso.

Questi risultati confermano l'ipotesi iniziale, indicando che quanto più l'animale procede con lo sviluppo tanto più aumenta le proprie capacità digestive e fermentative, riuscendo così a trarre sostentamento anche da diete fibrose; questo è possibile in quanto nell'intestino e in particolare nel crasso, grazie alla presenza dei microorganismi, avviene la formazione di acidi grassi volatili (AGV, Serena *et al.*, 2008) che vengono poi assorbiti dall'animale come dimostrato da Rérat *et al.* (1987). Nella sua pubblicazione lo studioso eseguì tramite gascromatografia delle misurazioni di concentrazioni di acidi grassi nel sangue (5ml) prelevati dalla vena porta e dall'arteria carotide al momento pasto ed ad ogni ora per le 12 ore successive. La procedura che prevedeva l'alimentazione dei suini con 800g di dieta (contenente un 6% di cellulosa) sotto forma di farina, era preceduta da un periodo di 12 o 24 ore di digiuno. Lo studio mette in evidenza una diversità tra tesi di ore di digiuno, ma dimostra come le concentrazioni venose di acido acetico, propionato, butirrico ed altri acidi grassi risultino molto più alte rispetto alle arteriose, indicando in questo un assorbimento quasi totale degli AGV da parte del fegato

nelle diete più fibrose. Secondo l'autore l'animale può così trarre fino al 30% dell'energia necessaria per il suo mantenimento.

1.1.4 Impiego di alimenti fibrosi e riduzione delle escrezioni.

Gli allevamenti suini sono considerati le tipologie di allevamento più responsabili di fenomeni di inquinamento ambientale, in quanto hanno spesso capienze di animali molto elevate e superfici agricole aziendali non proporzionate e sono dislocati prevalentemente in aree sensibili (quali la Pianura padana), assieme ad altri allevamenti intensivi (bovini e avicoli). Tra i principali inquinanti l'azoto è oggetto di una specifica direttiva comunitaria (Direttiva 676/91/CEE, "Direttiva Nitrati") per limitare l'eccessiva concentrazione dei nitrati nei terreni e l'inquinamento delle falde, ma stanno preoccupando anche le problematiche di accumulo di fosforo e di metalli pesanti (Direttive 118/2006/UE e 80/2014/UE), e quelle relative alle emissioni gassose e maleodoranti (Direttiva 75/2010/UE). Pertanto, anche sotto il profilo della compatibilità ambientale, gli allevamenti di suini richiederebbero interventi urgenti di innovazione, che in parte riguardano le tecnologie di stoccaggio e trattamento dei reflui, ma andrebbero indirizzati anche verso tecniche di allevamento e di alimentazione in grado di attenuare l'entità delle emissioni dagli allevamenti.

Ovviamente una prima e fondamentale strategia alimentare per mitigare le escrezioni è quella di calibrare attentamente i dosaggi dei nutrienti nelle diete evitando gli eccessi e garantendo apporti strettamente in linea con quelli che sono i fabbisogni degli animali, come dimostrato nel recente lavoro di Gallo *et al.* (2014). Tuttavia esistono margini di miglioramento ulteriori che possono derivare dalla inclusione nelle diete di alimenti grossolani, fibrosi e insilati.

Studi svolti da Patráš *et al.* (2012) hanno evidenziato che la fibra non digerita che giunge negli ultimi tratti del digerente stimola la crescita della microflora intestinale e determina un richiamo di azoto dal circolo ematico, riducendo così la sua escrezione nelle urine. Viene così alterato il rapporto dell'N escreto, con conseguente riduzione dell'escrezione di N nelle urine come urea e aumento dell'escrezione di N nelle feci come proteine batteriche (Zervas e Zijlstra, 2002; O'Shea *et al.*, 2009). Da un punto di vista ambientale, l'azoto escreto con le feci, come proteina microbica, è meno impattante rispetto a quello urinario perché la sua degradazione e volatilizzazione risulta essere più lenta, portando quindi ad una minore emissione di ammoniacca (NH₃) dai liquami. Inoltre, la diminuzione delle emissioni di NH₃ dai liquami potrebbe derivare anche dalla riduzione del pH fecale, causato dalla formazione di AGV durante la fermentazione

nell'intestino crasso a seguito della ingestione di alimenti fibrosi e grossolani (O'Shea *et al.*, 2009).

Galassi *et al.* (2007) ha condotto esperimenti con diete contenenti sottoprodotti fibrosi, quali le polpe secche di bietola e la crusca di frumento, con l'obiettivo di valutare in che misura la loro inclusione nella dieta influenzi le emissioni ammoniacali delle deiezioni zootecniche e le prestazioni del suino pesante italiano nell'ultima fase di ingrasso. Sono state proposte cinque diete: una di controllo e quattro ottenute da due livelli di inclusione (12 e 24%) di polpe di bietola disidratate oppure di crusca di frumento macinata. Passando dalle diete di controllo a quelle più fibrose si modificava la partizione dell'escrezione azotata, con un aumento della quantità di azoto fecale a discapito di quello urinario. Inoltre sono state misurate le emissioni di ammoniaca durante un periodo di 14 giorni. Le diete che avevano minori emissioni sono quelle con l'inclusione di polpe di bietola, seguite da quella con la crusca di frumento inclusa al 24%. La dieta con maggior emissione è invece risultata quella di controllo. L'ammoniaca cumulativa emessa dai reflui nei 14 giorni di sperimentazione è risultata più elevata nel controllo (613 mmoli), mentre si è dimostrata meno emissiva quella contenente polpe di barbabietola al 24% (458 mmoli; Figura 6), con la conseguente riduzione dell'N emesso.

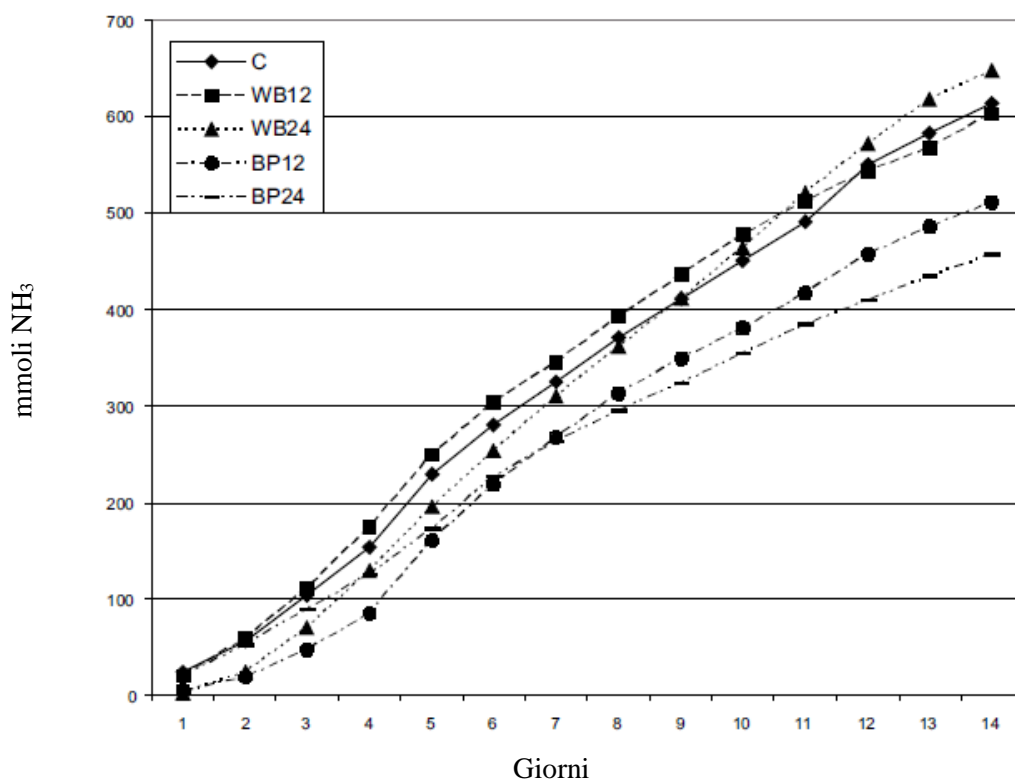


Figura 6. Confronto tra controllo e diete sperimentali nelle emissioni in 14 giorni di ammoniaca da campioni di liquame del peso di 2 kg (Galassi *et al.*, 2007).

In uno studio molto recente anche Philippe (2015) mette in relazione il tipo di dieta con le emissioni di composti NH₃, ossido di diazoto (N₂O), metano (CH₄) e anidride carbonica (CO₂). Utilizzando due diete, una di controllo ed una fibrosa contenente polpe secche di bietola, in scrofe gestanti e suini all'ingrasso si è visto che l'emissione giornaliera di ammoniaca diminuiva in maniera significativa: per le scrofe passava da 36,5 a 27,2 g/d mentre per i suini all'ingrasso da 45,0 a 23,2 g/d.

Da questi studi si può dunque concludere che l'aumento delle attività fermentative nell'ultimo tratto del digerente del suino possono consentire di ottenere liquami a ridotta emissione di NH₃: lo stimolo alle attività fermentative intestinali potrebbe essere ottenuto con la inclusione di alimenti ad elevata fibrosità e/o granulometria che possono rifornire di materiali indigeriti gli ultimi tratti intestinali.

Per quanto riguarda il fosforo si tratta di un minerale essenziale per la crescita dei suini, ma la sua presenza nei vegetali si riscontra prevalentemente nella forma organica dell'acido fitico o fitati (Humer *et al.*, 2013). Questa molecola è la principale fonte di deposito di fosforo delle piante che però non lo rende disponibile per l'assorbimento intestinale. Infatti il suino, non possiede nel corredo di enzimi della digestione l'enzima fitasi, che porta alla disgregazione della molecola del fosforo fitinico, limitando così la possibilità di assorbire il fosforo dagli alimenti (Bertacchini e Campani, 2001). Per questo motivo nella formulazione delle diete è necessario prevedere l'aggiunta di fosforo in forma digeribile oppure l'integrazione con l'enzima fitasi. Questi accorgimenti oltre a far aumentare il costo della dieta, determinano un'eccessiva escrezione del fosforo nei liquami, quota che secondo lo studio condotto da Poulsen *et al.* (1999) può arrivare anche al 70% del fosforo ingerito.

L'utilizzo di cereali insilati può in parte migliorare la disponibilità di fosforo fitinico. Infatti, l'effetto acidificante dell'insilamento determina la attivazione delle fitasi endogene del cereale e questo fenomeno, associato alla capacità dei batteri di sintetizzare fitasi, favorisce la idrolisi della molecola dell'acido fitico rendendo il fosforo disponibile (Lopez *et al.*, 2000; De Angelis *et al.*, 2003).

Questo viene confermato da studi recenti come quelli svolti da Humer *et al.* (2014) e Kraler *et al.* (2014) che dimostrano come questa proprietà degli insilati possa avere ripercussioni positive sull'alimentazione dei monogastrici ed in particolare nel suino. In prove condotte su cereali diversi (mais e frumento) sottoposti a fermentazione batterica anaerobica, gli studiosi hanno dimostrato un incremento significativo della disponibilità di fosforo per gli animali ed una sua migliore digeribilità (Tabella 6). Inoltre gli studi riscontrano una modificazione delle

concentrazioni di fosforo escrete, infatti il miglior assorbimento porta ad una sua riduzione nelle feci (tra il 16 ed il 19%) ma ad un suo incremento a livello urinario, passando da 0,09 della dieta controllo a 0,13 g/d nella dieta con l'alimento insilato come evidenziato nella pubblicazione di Kraler *et al.* (2014).

Tabella 6. Bilancio del fosforo in diete contenenti mais o crusca di frumento secchi o insilati (Humer *et al.*, 2014; Kraler *et al.*, 2014).

	Mais		SEM	Crusca di frumento		SEM
	Essiccato	Insilato		Essiccato	Insilato	
Ingestione, g/d	7,2	6,5	0,16	3,82 ^a	3,87 ^b	0,07
Escrezione fecale, g/d	3,7 ^a	3,1 ^b	0,13	2,04 ^a	1,65 ^b	0,11
Escrezione urinaria, g/d	0,3	0,3	0,06	0,09 ^b	0,13 ^a	0,01
Escrezione totale, g/d	4,2 ^a	3,2 ^b	0,14	2,13 ^a	1,77 ^b	0,1
Digeribilità apparente	0,47 ^β	0,55 ^α	0,02	0,43 ^b	0,58 ^a	0,02
Trattenuto, g/d	2,9	3,1	0,15	1,69 ^b	2,19 ^a	0,08
Trattenuto, % dell'ingerito	40,8	48,1	1,67	42,09 ^b	54,47 ^a	0,02

^{a,b}I valori nella stessa riga con diversi esponenti differiscono significativamente (P<0,05);

^{α,β}I valori nella stessa riga con diversi esponenti differiscono tendenzialmente (P<0,10);

1.2. Obiettivi e articolazione della tesi

La presente tesi di dottorato si inserisce nell'ambito di un progetto più ampio e indirizzato a valutare programmi alimentari innovativi per il suino pesante nella ultima fase di ingrasso (Progetto Ager n° 2011-0280: "Compatibilità ambientale e benessere animale nella filiera del suino per migliorare la redditività e attenuare gli impatti"), capaci di migliorare il benessere animale e ridurre l'impatto ambientale degli allevamenti senza compromettere le performance animali in termini di crescita, caratteristiche al macello e qualità delle produzioni tipiche.

Gli ingredienti che sono stati oggetto di studio sono alimenti tradizionali, largamente diffusi nel contesto agro-zootecnico nazionale e di produzione aziendale, ma che non sono impiegati nell'alimentazione del suino pesante in quanto considerati eccessivamente fibrosi e grossolani e ritenuti incompatibili con le attuali tecnologie intensive di allevamento dei suini: il pastone integrale di spiga e il trinciato integrale di mais. La tesi sviluppa uno studio che si propone di innovare, in parte, le modalità di alimentazione dei suini pesanti per attenuare l'impatto negativo delle attuali diete applicate nelle condizioni intensive sul benessere animale e recuperare nella alimentazione foraggi di origine aziendale in parziale sostituzione delle tradizionali farine di cereali, senza comunque deprimere le performance degli animali.

L'indagine sperimentale è limitata alla fase finale di ingrasso del suino pesante (da 80 a 165kg) poiché: è la più idonea sotto il profilo di capacità di utilizzo digestivo-metabolica degli animali, è quella in cui gli animali sono più sensibile ai fattori stressori ed infine è il periodo che precede la macellazione ed è quindi direttamente condizionante la qualità delle carni fresche.

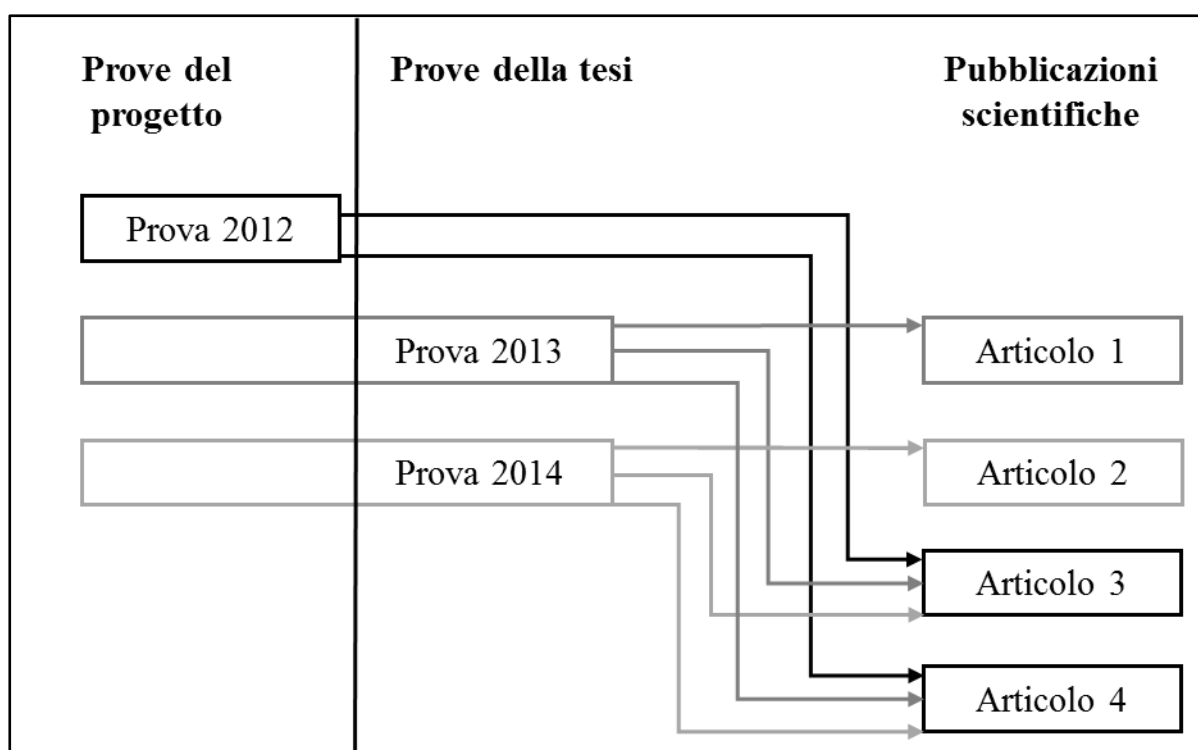
Gli obiettivi specifici della tesi sono stati quelli di:

- analizzare, mediante prove di alimentazione, metaboliche e di macellazione, parametri di crescita, di digeribilità, di ritenzione ed escrezione dei nutrienti e di performance di macellazione dei suini alimentati con diete contenenti insilati di mais;
- valutare gli effetti sui parametri qualitativi della coscia durante i tradizionali processi di stagionatura;
- analizzare gli effetti della somministrazione degli alimenti insilati, a tipica granulometria grossolana, sullo sviluppo dello stomaco, sul suo grado di riempimento e sulla integrità della mucosa gastrica per rilevare indirettamente un eventuale effetto positivo in termini di sazietà degli animali e di prevenzione nei riguardi della insorgenza delle lesioni gastriche;

- studiare la distribuzione delle lesioni gastriche utilizzando un archivio di esami necroscopici rilevati sugli stomaci dei suini in prove diverse.

La tesi si articola in un capitolo introduttivo che tratta di alcuni aspetti della alimentazione del suino pesante nell'ultima fase di ingrasso. Segue la parte sperimentale della tesi che è articolata in quattro contributi sperimentali in forma di lavori scientifici destinati a riviste internazionali, di cui uno già pubblicato, uno accettato dopo moderata revisione, uno accettato in corso stampa, ed un ultimo inviato ad una rivista che ha in corso il processo di revisione.

Le prove di alimentazione da cui sono stati tratti i dati sperimentali sono tre, di cui due condotte nella ambito della tesi sperimentale di dottorato. La prima prova era precedente alla tesi, ma durante il corso di dottorato sono stati analizzati campioni (grasso dorsale), fatti rilievi (sui prosciutti in stagionatura) e sono stati utilizzati i dati relativi alle lesioni gastriche. La tesi è completata con un capitolo di considerazioni e conclusioni finali e nel diagramma seguente viene presentata una articolazione schematica della tesi.



Articolo 1. Effect of physical form of whole ear corn silage (coarse vs wet milled) included at high dietary levels (30 vs 40 % dry matter) on performance of heavy finishing pigs.

Articolo 2. Digestibility, metabolic utilization and effects on growth and slaughter traits of diets containing whole plant corn silage in heavy pigs.

Articolo 3. Back fat fatty acid composition and hams weight losses during seasoning of heavy pigs fed whole ear or high cut whole plant corn silages.

Articolo 4. Topographic distribution of gastritis in heavy pigs by means of a Geographic information system (GIS) approach.

Capitolo 2

Effect of physical form of whole ear corn silage (coarse vs wet milled) included at high dietary levels (30 vs 40 % dry matter) on performance of heavy finishing pigs.

D. Capraro^a, C. Zanfi^a, M. Bassi^b, E. Pascotto^c, S. Bovolenta^a and M. Spanghero^{a*}

^a*Department of Agricultural and Environmental Sciences, Udine University, Via Sondrio, 2/A, 33100 Udine, Italy.*

^b*Associazione Allevatori del Friuli Venezia Giulia, Codroipo, Udine, Italy.*

^c *Unità Locale Socio Sanitaria, Asolo, Treviso, Italy.*

*Corresponding author. Tel: +39-432-558193; Fax: +39-432-558199; EM: mauro.spanghero@uniud.it

Animal Feed Science and Technology (2014), 198, 271-278

Effect of physical form of whole ear corn silage (coarse vs wet milled) included at high dietary levels (30 vs 40 % dry matter) on performance of heavy finishing pigs.

Abstract

The aim of the trial was to compare two dietary levels of whole ear corn silage (ES), fed in two physical forms (coarse or after wet milling), on growth, slaughter traits and stomach development of heavy finishing pigs. Fifty six “Italian Large White x Italian Duroc” (about 5 months of age and 78-80 kg of live weight (LW) were divided into pairs homogeneous and were kept in 28 pens (1.2 x 3 m, partially-slatted) equipped with two separate troughs to avoid competitions for feeding and with free access to water. Four dietary treatments resulted from the combination of two ES inclusion levels (300 and 400 g/kg DM, ES30 and ES40, respectively) and two physical forms of the silage (coarse and wet milled). Seven pairs of pigs were randomly assigned to each dietary treatment and the animals were slaughtered at an average LW of 163.0 Kg (± 1.92 kg). The coarse ES had particles longer than the milled silage (4.4 vs 2.7 mm) and when it was fed to pigs the pH of fecal samples were lower ($P < 0.01$) than that from pigs fed the milled ES, at both dietary inclusion levels (6.00 vs 6.20 for the ES30 diets and 5.97 vs 6.14 for the ES40 diets).

There were no significant differences in organic matter total tract digestibility, ADG, DMI and G:F ratio among the dietary treatments (0.81, 764 g/d, 77.1 g DM/kg LW^{0.75}, 0.266 g/g DM, on average respectively). The ES40 diets reduced the *Longissimus dorsi* thickness (56.4-59.8 vs 62.7-64.1 mm, $P < 0.011$) and increased the stomach weight (0.0040 vs 0.0038 of the LW, $P < 0.05$), while the coarse dimension of silage particles increased the DM content of the material in the stomach (from 142-171 to 179-183 g/kg DM, $P < 0.045$) and the surface of the pyloric region (from 214-216 to 225-232 cm², $P < 0.029$). The two dietary inclusion levels and physical forms of ES do not differentiate growth and slaughter traits of the heavy finishing pigs. However, the coarse form of the silage modifies the development of the stomach by increasing the internal surface of the pyloric region as a possible consequence of a longer retention time in the stomach.

Abbreviations: ADG, average daily gain; AIA, acid insoluble ash; CATTD, coefficient of apparent total tract digestibility; BT, backfats; CLP, carcass lean percentage; CP, crude protein; DM, dry matter; DMI, dry matter intake; EE, ether extract; ES, whole ear corn silage; LD, *Longissimus dorsi*; LW, live weight; NDF, neutral detergent fiber; OM, organic matter.

Keywords. pig, whole ear corn silage, particle size, growth, slaughter traits, stomach development.

1. Introduction

Whole ear corn silage (ES) consists of kernels, cobs and husks and is harvested with a forage chopper, equipped with a kernel processor and a snapper head. This silage is rich in starch, but is not commonly used in fattening pig diets since it is considered to be too fibrous (i.e. about 20% NDF on DM basis) and also because its coarse form could cause clogging problems to the automatic feed delivery systems.

However, given that ES can supply diets with both starch and fiber, it could represent an appropriate ingredient to fulfill the recent pig welfare issues (EFSA, 2007, 2012), which prescribe the presence of fiber also in fattening diets. Moreover, ES is a farmland grown feed resource, which increases farm sustainability by limiting off-farm feeds transports and drying energy consumptions.

In Italy (Bosi and Russo, 2004) the fattening period is prolonged until the pigs reach a slaughter weight of 160-170 kg, which is the standard required for the ham cured production system (i.e. “prosciutto”). We observed that inclusion of ES in diets at low or medium rates (150-300 g/kg DM) for the Italian heavy finishing pigs production (i.e. LW > 80 kg) probably exerts a positive dietary effect, due to its long gastric retention time and coarse particle size which could promote the satiety of animals and limit the direct contact of gastric acids with the stomach mucosa (Mason *et al.*, 2013). In fact, it is known that low fiber diets with small particle size lead to a more fluid gastric chime and a risk for the gastric mucosa integrity (Millet *et al.*, 2010, 2012a, 2012b; Mößeler *et al.*, 2010, 2014). On the contrary, providing pigs with coarse and fibrous materials (e.g. straw provided in racks) has been demonstrated effective to reduce oesophago-gastric ulcers in heavy fattening pigs (Di Martino *et al.*, 2013).

In our previous research with heavy pigs (Zanfi *et al.*, 2014) we showed that ES included up to 300 g/kg DM had not adverse effect on animal performance, when compared with traditional soy-corn based diets at the same level of fiber content (e.g. NDF of 150 g/kg DM). In the present paper we present the results of another experiment carried out on finishing Italian heavy pigs, where we further increased the dietary inclusion of ES (400 g/kg of DM) to be compared with the dietary level already tested previously (300 g/kg of DM). The effects of silage particle size reduction, when ES is fed in coarse physical form or after a wet milling, were also investigated.

2. Material and methods

All animals were cared for in accordance to the guidelines on animal welfare in animal research of the Italian Legislative decree No. 116/1992 (Italian Ministry of Health, 1992).

2.1. Feeding trial

Fifty six “Italian Large White x Italian Duroc” pigs (about five months of age and 78-80 kg LW) consisting of equal numbers of gilts and barrows were divided into pairs, homogeneous for LW and sex (one gilt and one barrow) and kept in 28 pens (1.2 x 3 m, partially-slatted). Each pen had free access to water and was equipped with two separate troughs to avoid competitions for feeding.

The experimental diets contained same amounts of barley, wheat, soybean and supplement (231, 100, 90 and 179 g/kg DM, respectively) and differed for ES and corn meal contents (300 and 250 g/kg DM, respectively, in diets E30 and 400 and 150 g/kg DM, respectively, in diets E40). ES was included in chopped form (without any treatment) or after wet grinding (by a farm mill with a 2 mm grind). The diets were prepared daily by adding ES to a compound feed, appropriately formulated. Overall, the four dietary treatments resulted from the combination of two ES inclusion levels (300 and 400 g/kg DM) and two physical forms (coarse and wet milled). Seven pairs of pigs were randomly assigned to each dietary treatment.

During the first 10 days of the experiment the animals received (5 d) a compound feed supplemented with antibiotics (575 and 200 mg/kg of amoxicillin and colistin, respectively), and subsequently were adapted to the experimental diets (5 d). During the trial the daily DM intake (DMI) was restricted to about $77.1 \text{ g/Kg LW}^{0.75}$ and rations were fed in equal portions at 08.00 and 16.00 daily. The trial started at a LW of $87.6 \pm 6.1 \text{ kg}$. Every two weeks the pigs were weighed to monitor the average daily gain (ADG) and feed samples were collected.

Samples of faeces were collected when animals reached an average LW of $150.4 \pm 6.9 \text{ kg}$, immediately after the excretion (two samples from each pen per day over two consecutive days) and were immediately stored at -20°C for the subsequent analysis.

2.2 Slaughtering traits, meat analysis and stomach measures.

The animals were slaughtered at an average LW of $163.0 \text{ Kg} (\pm 1.9 \text{ kg})$ by electrical stunning and then were exsanguinated. The carcasses were weighed and then dissected into commercial cuts. Hams, loins (muscle *Longissimus dorsi*, LD) and backfats (BT) were weighted before cooling. Backfat and LD thickness (BT and LDT, respectively) were measured before cooling

at 8 cm to the side of the central line of the carcass between the third and the fourth last ribs (European Commission, 2001) using a Fat-O-Meater equipped with a probe of 6-mm diam. with a photodiode (SFH 950/960 Type; Siemens, Munich, Germany).

Carcass lean percentage (CLP) was calculated from BT and LDT (both in mm) using the following equation for heavy pigs (European Commission, 2001):

$$\text{CLP} = 45.371951 - 0.221432 \text{ BT} + 0.055939 \text{ LDT} + 2.554674 \text{ BT/LDT}$$

A sample of LD muscle (about 1 kg) was collected at slaughter from each animal and used for the following measurements:

- drip loss, with 8 cylinders (25 mm of diam.) inserted in EZ-Driploss containers (Rasmussen and Andersson, 1996) and maintained for 72 h at 4°C;
- cooking loss, with 5 slices of 20 mm thickness cooked in plastic bags (75°C for 45 min) using a waterbath (Honikel, 1998);
- pH values of the meat, taken on muscle sections by a glass piercing electrode (Crison 52-32) connected to a pH-meter at 120 minutes (pH120) after slaughter;
- DM content, on a portion of the sample vacuum-packed, rapidly frozen (at -20 °C) and freeze-dried.

The stomach was collected at slaughter and then manipulated following the procedures described in a previous work (Mason *et al.*, 2013). In brief, organs were stored at -20°C and after thawing were opened along the greater curvature (*curvature ventricles major*) and emptied. The material in the stomach was sampled and analyzed for DM content, while the empty organs were gently rinsed, weighed and orthogonal photos of the outstretched stomach were taken by stand. The images were used to measure the oesophageal, fundic, cardia and pyloric area by a dedicated software open source (ImageJ 1.46r, source freely available. Developed by Rasband W., National Institute of Mental Health, Bethesda, Maryland, USA). The pyloric torus (Bal *et al.*, 1972) was isolated from the pyloric region of each pig stomach and was weighted.

2.3. Chemical analysis of feeds, faeces and muscle samples

Dried ES samples (48 h at 60°C in a forced air oven) and compound feeds samples were milled at 1 mm sieve (Wiley mill, Arthur H. Thomas, Philadelphia, PA) assayed in duplicate for DM, crude protein (CP as nitrogen N x 6,25), ether extract (EE), total ash content (AOAC 2000, methods 930.15, 976.05, 954.02 and 942.05, respectively) and acid insoluble ash (AIA; Kavanagh, 2001).

Neutral detergent fiber (NDF) content was measured by Ankom II Fiber Analyzer (Ankom Technology Corporation, Fairport, NY) following the procedure of Mertens (2002).

During the experiment 5 fresh samples of both coarse and milled ES (approximately 500 g each one) were fractionated using a particle separator (NASCO[®], Nasco, Fort Atkinson, WI) composed of three sieves (mesh diam. of 19, 8 and 2 mm) and a collector at the bottom. Samples were inserted in the upper sieve and the apparatus was shaken for a total of 40 horizontal movements in four directions (Kononoff *et al.*, 2003).

Samples of faeces collected by each pen were used for pH measurement (10 g diluted in distilled water 1:25) or were dried (100 g in a forced-air oven for 48 h at 60°C), pooled per pen, milled at 1 mm sieve (Wiley mill, Arthur H. Thomas, Philadelphia, PA) and then analyzed for analytical DM, total ash and AIA, according to the previous cited methods. The AIA content in dried feed and fecal samples was determined by slow boiling the ash of samples for 15 minutes in 75 ml of HCl 3N (Kavanagh *et al.*, 2001, with only minor modifications). The solution was then filtered through ash-free filter paper (Whatman no. 541, 20µm of porosity) with distilled water and the filters with residues were incinerated at 550° C for 1 night.

Organic matter (OM) coefficient of apparent total tract digestibility (CATTD) was calculated as follows: $100 - (100 \times (\% \text{ AIA in feed} / \% \text{ AIA in faeces}) \times (\% \text{ OM in faeces} / \% \text{ OM in feed}))$.

2.4. Statistical analysis

Sieving data of the silage were analyzed with a simple mono factorial model, while data of in vivo performance and slaughter traits of pigs were analyzed as a completely randomized 2 × 2 factorial design (proc GLM of SAS) using the pen as experimental unit:

$$y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

where:

y_{ijk} is the response of the experimental pen ($k=1,7$), μ is the overall mean, α_i is a fixed effect of the amount of silage ($i=1,2$), β_j is a fixed effect of the silage particle size ($j=1,2$) and ε_{ijk} is the random error.

3. Results

The ES30 and ES40 diets (Table 1) showed a similar chemical composition except a slight difference of NDF content (150 and 156 g/kg DM in ES30 and ES40, respectively).

The particle distribution of the ES was greatly modified after milling (Table 2). The coarse silage had lower fractions compared to the milled silage, both for the material collected at the bottom (<2.0 mm, 123 vs 219 g/kg) and in the 2.0-7.9 mm fraction (604 vs 761 g/kg); on the contrary there was a higher presence of material at the 8-19 mm sieve for coarse ES compared to the ES milled (257 vs 18 g/kg). The fractions left in the highest sieve (>19 mm) were very low for both type of silages and the overall average particles size for the milled silage was much shorter than the coarse silage (2.7 vs 4.4 mm).

The pH of fecal samples (Table 3) collected from pigs fed the ES in coarse form were lower ($P<0.01$) than that from pigs fed the milled ES, both at a dietary level of 300 g/kg of DM (6.00 vs 6.20) and 400 g/kg of DM (5.96 vs 6.14). The DM content of fecal samples collected from pigs fed the ES30 diets were higher ($P<0.05$) than those fed the ES40 diets, both for coarse (257 vs 239 g/kg DM) and milled (242 vs 240 g/kg DM) silage. The OM digestibility was not changed neither by the dietary treatments nor by the sampling and averaged at 0.81. There were no significant differences in ADG, DMI and G:F ratio among the dietary treatments (764 g/d, 77.1 g DM/kg LW^{0.75}, 0.266 g/g DM, on average respectively).

The dressing proportion and weight of main meat cuts did not differ among dietary treatments (Table 4), while the ES40 determined a reduction ($P<0.011$) of the LD thickness (from 63-64 to 56-60 mm).

The wet milling of the silage decreased ($P<0.05$, Table 5) the stomach weight as proportion of LW (0.0038 vs 0.0040), the DM content of the material in the stomach (142 vs 179 g/kg DM and 171 vs 183 g/kg DM, respectively for ES30 and ES40 diets) and reduced the surface of the pyloric region (214 vs 225 and 216 vs 232 cm², respectively for ES30 and ES40 diets). In addition, there was a tendency ($P<0.10$) for a smaller total and cardiac stomach surfaces and for lower proportion of pyloric torus on the stomach weight for the diets containing the wet milled ES.

4. Discussion

The whole ear corn silage used in the feeding trial had an average pH value of 3.99 and this indicated a satisfactory fermentation pattern during the ensiling process while the mycotoxins assays revealed no fungal contaminations (data not shown). The silage (Table 2) showed a typical chemical composition, similar to that reported by Bucholtz (2012) and in our previous experiments (Zanfi and Spanghero, 2012; Zanfi *et al.*, 2014) with an average value of NDF of 192 g/kg DM. In a previous trial (Zanfi *et al.*, 2014) we showed that up to 300 g/kg DM the

whole wheat bran of the diet and part of the dry corn can be replaced with ES to maintain the dietary fiber content (approx. 150 g of NDF/kg) and without adverse effect on animal performance. In present trial we compared the ES30 diet with a diet obtained by substituting a further 100 g/kg DM of dry corn with ES (ES40). Overall the two experimental diets (ES30 and ES40) have similar chemical composition, with a very small measured difference in the NDF content (e.g. below 10 g/kg DM, Table 1).

The coarse silage had a typical distribution of particles, with a large proportion of material retained by the 8 mm sieve of the Nasco separator (approximately 260 g/kg) and a calculated average size of 4.4 mm. The wet milling caused a remarkable particle size reduction of the silage, with a negligible fraction retained by the 8 mm sieve and a calculated length of particle size of 2.7 mm (Table 2).

All pigs exhibited excellent health conditions during the experiment and no feed residuals were observed in the entire study. The low fecal pH (Table 3) for the pigs receiving the silage in coarse form could be due to a great escape from the upper sites of digestion (e.g. stomach and duodenum) of undigested material, which would be then intensively fermented in the gut. In fact in a previous trial (Zanfi *et al.*, 2014) we observed a drop of pH values of faeces in diets containing coarse ES when compared to a control soy-dry corn based diet. Organic matter CATTD of the four diets (0.81 on average) were lower than those recorded in total collection trials with heavy pigs (Zanfi and Spanghero 2012; Zanfi *et al.*, 2014; Prandini *et al.*, 2013), but slightly lower than those found by Galassi *et al.* (2010) with heavy pigs fed high fiber diets (range 0.85-86). A possible explanation for the low apparent digestibility results we found could be associated to the inaccuracy measurement of AIA in feeds or faeces. However when in previous works (Kavanagh *et al.*, 2001) digestibility results obtained by AIA markers with external markers (e.g. Cr₂O₃ e TiO₂) were compared to total collection measurements a high accuracy was detected.

The overall ADG of animals (765 g/d on average) was close to that obtained by Zanfi *et al.* (2014, 740 g/d on average) with diets containing 300 g of ES/kg DM and with similar animals (e.g. for genetic type and growth stage). It is noteworthy that high level of ES inclusion in present trial resulted in ADG similar or higher than those observed for heavy pigs fed conventional diets (soybean-corn diets containing wheat bran, without corn silages) in the second half of fattening (Prandini *et al.*, 2013, 769 g/d on average; Gallo *et al.*, 2014, 665 g/d on average) or in the whole fattening period (Fabro *et al.*, 2013, 720 g/d).

The slaughter traits (Table 4) were very similar among dietary treatments, with the only significant difference for the LD muscle depth, which resulted lower at the highest ES inclusion level. Indeed in our previous trial (Zanfi *et al.*, 2014) we observed a tendency to a reduction in this muscle and a significant lower lean proportion of the carcass.

In the present trial, the slaughter weight of pigs and the stomach weight were only slightly lower (from 4 to 6%) than those recorded previously (Mason *et al.*, 2013), while a much lower fresh material content of stomach was observed (-60%). This was probably due to a longer transportation of the animals to the slaughter house and to a delay in starting the slaughter procedures that occurred in the present trial, what consequently caused a more complete emptying of the pigs' stomachs. Moreover in the present experiment the internal surfaces of stomachs also resulted much lower than in the previous trial (-30%; Mason *et al.*, 2013). Our explanation is that the delay of transportation and slaughtering presumably favored the stomach emptying and therefore the stomach walls were not stretched during the whole storage period. In conclusion, the internal surface of stomachs preserved by freezing seems to be dependent from the level of organ repletion at slaughter.

In our experiment a higher ES inclusion level in the diets resulted in a larger stomachs size which is consistent with the known coarse dietary particles effect of increasing the pig stomach weight (Eisemann and Argenzio, 1999). In addition to the effect on stomach weight, the coarse ES diets induced a different development of the stomach; in fact there was a significant increase of the pyloric region surface ($P<0.05$) that confirms our previous findings (Mason *et al.*, 2013) and the tendency for an increase of the cardiac region and the total internal surface ($P=0.08$ and $P=0.066$, respectively). Finally, diets containing coarse ES determined a significant increase in DM content of the fresh material recovered in stomachs in accordance with the known lower stomach fluidity, observed when pigs are fed more coarse diets (Eisemann and Argenzio, 1999; Maxwell *et al.*, 1970; Mößeler *et al.*, 2010, 2014).

Overall these results indicate that diets containing coarse ES stimulate the development of the stomach size, particularly in the pyloric region, which is involved in the process of feed retention. However, the pyloric torus (Bal *et al.*, 1972), which is a muscle structure within the pyloric sphincter was not increased in weight by the type of the diet. Therefore, while the dietary bulkiness seems to stimulate the increase the overall size of the stomach, no evidence was found of a similar development of the muscle structure (torus pyloricus) in the pyloric sphincter.

The similar growth and slaughter performances we observed among the dietary treatments tested could be partially expected, given the similar organic matter digestibility results of the experimental diets.

The ES30 and ES40 diets were very similar in terms of composition and therefore digestibility differences could have been difficult to detect. However, the ES40 with respect to ES30 was expected to be less digestible, due to its higher fiber content, but it is possible that its presumably more digestible starch could have compensated this. Indeed, corn starch granules are entrapped in a protective matrix of protein (prolamin), which is a barrier to their breakdown (Giuberti *et al.*, 2014; Hoffmann *et al.*, 2011). Prolamin increases with advancing the kernel maturity (Masoero *et al.*, 2011) and are degraded during the ensiling process (Hoffmann *et al.*, 2011). Therefore, the ensiled corn, such as ES, exhibits a more digestible starch than dry corn meal. Reduction of the ES particle size did not lead to a significantly improved digestibility, this result indeed is surprising and difficult to interpret. However, we could speculate that a longer retention of coarse particles of not milled ES in the stomach could have had a beneficial effect on the whole tract digestibility (i.e. more intensive degradation of prolamins), nevertheless such an interpretation requires further experimental evidence.

5. Conclusions

The two dietary inclusion levels and physical forms of ES do not differentiate growth and slaughter traits of the heavy finishing pigs fed at the same restricted level. Moreover, the coarse form of the silage modifies the development of the stomach by increasing the internal surface of the pyloric region. Therefore, ES can be included in coarse form up to 400 g/kg DM without depression in pig performance; a positive effect of coarse silage on animal satiety for a longer retention time in the stomach is predictable, but requires to be verified.

6. Acknowledgements

Supported by *Progetto AGER*, grant n° 2011-0280. The Associazione Allevatori del Friuli (Codroipo, Udine, Italy) is gratefully acknowledged for excellent collaboration and technical assistance.

7. References

- A.O.A.C., 2000. Official Methods of Analysis, 17th ed. Association of Official Analytical Chemists, Gaithersburg, MD, USA.
- Bal, H.S., Ghoshal, N.G., Magilton, J.H., 1972. Histomorphology of the Torus pyloricus of the Domestic Pig (*Sus scrofa domestica*). *Anatomia, Histologia, Embryologia*, 1, 289-298.
- Bosi, P., Russo, V., 2004. The production of the heavy pig for high quality processed products. *Ital. J. Anim. Sci.* 3, 309-321.
- Bucholtz, H., 2012. Key points in harvesting and storing high moisture corn. In: Proc. Tri-State Dairy Nutr. Conf., Fort Wayne, IN., 119-125.
- Di Martino, G., Capello, K., Scollo, A., Gottardo, F., Stefani, A.L., Rampin, R., Schiavon, E., Marangon, S., Bonfanti, L., 2013. Continuous straw provision reduces prevalence of oesophago-gastric ulcer in pigs slaughtered at 170 kg (heavy pigs). *Research in Veterinary Science* 95, 1271-1273.
- European Commission, 2001. Authorising methods for grading pig carcasses in Italy. Off. J. Eur. Communities, 2001/468/EC, L163/33, Brussels, Belgium.
- EFSA (European Food Safety Authority), 2007. Animal health and welfare in fattening pigs in relation to housing and husbandry. Scientific Opinion of the Panel on Animal Health and Welfare. *EFSA J.* 564, 1-14.
- EFSA (European Food Safety Authority), 2012. The use of animal-based measures to assess welfare in pigs. Scientific Opinion of the Panel on Animal Health and Welfare. *EFSA J.* 10-2512.
- Eisemann, J.H., Argenzio, R.A., 1999. Effects of diet and housing density on growth and stomach morphology in pigs. *J. Anim. Sci.* 77, 2709-2714.
- Fabro C., Sgorlon S., Guiatti, D., Stefanon, B., Susmel, P., 2013. Productive response of Duroc x Large White and commercial Hybrid x Large White crosses fed high and low protein diets. *Italian J. of Anim. Sci.* 12, 507-512.
- Galassi, G., Colombini, S., Malagutti, L., Crovetto, G.M., Rapetti, L., 2010. Effects of high fibre and low protein diets on performance, digestibility, nitrogen excretion and ammonia emission in the heavy pig. *Anim. Feed Sci. Technol.* 161, 140-148.
- Gallo, L., Dalla Montà, G., Carraro, L., Cecchinato, A., Carnier, P., Schiavon, S., 2014. Growth performance of heavy pigs fed restrictively diets with decreasing crude protein and indispensable amino acids content. *Livest. Sci.* 161, 130-138.

- Giuberti, G., Gallo, A., Masoero, F., Ferraretto, L.F., Hoffman, P. C., Shaver, R. D., 2014. Factors affecting starch utilization in large animal food production system: a review. *Starch* 66, 72-90.
- Hoffman, P.C., Esser, N.M., Shaver, R.D., Coblenz, W.K., Scott, M.P., Bodnar, A.L., Schmidt, R. J., Charley, R.C., 2011. Influence of ensiling time and inoculation on alteration of the starch protein matrix in high-moisture corn. *J. Dairy Sci.* 94, 2465-2474.
- Honikel, K.O., 1998. Reference methods for the assessment of physical characteristics of meat. *Meat Sci.* 49, 447–457.
- Kavanagh, S., Lynch, P.B., O'Marab, F., Caffrey, P.J., 2001. A comparison of total collection and marker technique for the measurement of apparent digestibility of diets for growing pigs. *Anim. Feed Sci. Technol.* 89, 49-58.
- Kononoff, P.J., Heinrichs, A.J., Buckmaster, D.A., 2003. Modification of the penn state forage and total mixed ration particle separator and the effects of moisture content on its measurements. *J. Dairy Sci.* 86, 1858–1863.
- Mason, F., Pascotto, E., Zanfi, C., Spanghero, M., 2013. Effect of dietary inclusion of whole ear corn silage on stomach development and gastric mucosa integrity of heavy pigs at slaughter. *The Veterinary Journal* 198, 717-719.
- Maxwell, C.V., Reimann, E.M., Hoekstra, W.G., Kowalczyk, T., Benevenga, N.J., Grummer, R.H., 1970. Effect of dietary particle size on lesion development and on the contents of various regions of the swine stomach. *J. Anim. Sci.* 30, 911–922.
- Mertens, D.R., 2002. Gravimetric determination of amylase-treated neutral detergent fiber in feeds using refluxing in beakers or crucibles: Collaborative study. *J. Assoc. Off. Anal. Chem.* 85, 1217–1240.
- Millet, S., Meyns, T., Aluwé, M., De Brabander, D., Ducatelle, R., 2010. Effect of grinding intensity and crude fibre content of the feed on growth performance and gastric mucosa integrity of growing–finishing pigs. *Livest. Sci.* 134, 152-154.
- Millet, S., Kumar S., De Boever, J., Meyns, T., Aluwé, M., De Brabander, D., Ducatelle, R., 2012a. Effect of particle size distribution and dietary crude fibre content on growth performance and gastric mucosa integrity of growing–finishing pigs. *The Veterinary Journal* 192, 316-321.
- Millet, S., Kumar, S., De Boever, J., Ducatelle, R., De Brabander, D., 2012b. Effect of feed processing on growth performance and gastric mucosa integrity in pigs from weaning until slaughter. *Anim. Feed Sci. Technol.* 175, 175-181.

- Möbeler, A., Wintermann, M., Sander, S.J., Kamphues, J., 2014. Effect of diet grinding and pelleting fed either dry or liquid feed on dry matter and ph in the stomach of pigs and the development of gastric ulcers. *J. Anim. Sci.* 90, 343-345.
- Möbeler, A., Köttendorf, S., Große Liesner, V., Kamphues, J., 2010. Impact of diets' physical form (particle size; meal/pelleted) on the milieu within the stomach content (dry matter content, pH, chloride concentration) of pigs. *Livest. Sci.* 134, 146–148.
- NRC, 2012. *Nutrient Requirements of Swine*, 11th Ed. National Academy Press, Washington, DC, USA.
- Prandini, A., Sigolo S., Morlacchini, M., Grilli, E., Fiorentini, L., 2013. Microencapsulated lysine and low-protein diets: Effects on performance, carcass characteristics and nitrogen excretion in heavy growing-finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 91, 4226-4234.
- Rasmussen, A.J., Andersson, M., 1996. New method for determination of drip loss in pork muscles. In: *Proc. 42nd Int. Congr. Meat Sci. Technol.*, Lillehammer, Norway. p. 286–287.
- Zanfi, C., Spanghero, M., 2012. Digestibility of diets containing whole ear corn silage for heavy pigs. *Livest. Sci.* 145, 287-291.
- Zanfi, C., Colombini, S., Mason, F., Galassi, G., Rapetti, L., Malagutti, L., Crovetto, G.M., Spanghero, M., 2014. Digestibility and metabolic utilization of diets containing whole ear corn silage and their effects on growth and slaughter traits of heavy pigs. *J. Anim. Sci.* 92, 211-219.

Table 1. Ingredient composition and chemical analysis of the experimental diets.

Ingredient, g	Experimental diets ^a			
	ES30		ES40	
	/kg as fed	/kg DM	/kg as fed	/kg DM
Corn meal	200	251	116	151
Barley meal	184	231	178	231
Wheat meal	80	100	77	100
Soya bean meal, extracted	72	90	69	90
Whole ear corn silage	239	300	308	400
CaCO ₃	9.0	11.3	8.7	11.3
CaHPO ₄	6.1	7.6	5.8	7.6
NaCl	2.8	3.5	2.7	3.5
Lys HCl	0.7	0.9	0.7	0.9
Premix ^b	3.7	4.7	3.6	4.7
Chemical analysis				
DM, g	797	-	769	-
CP (Nx6,25), g	-	135	-	134
NDF, g	-	150	-	156
EE, g	-	30	-	29
Ash, g	-	49	-	46
Ca ^c , g	-	7.2	-	7.2
P ^c , g	-	4.9	-	4.9
Lys ^c :				
Total lys, g	-	6.4	-	6.4
Lys true intestinal digestible, g	-	4.8	-	4.8
DE content, MJ		15.09		14.75

^a Diet ES30 and ES40: diets with 300 and 400 g/kg of whole ear corn silage on a DM basis, respectively.

^b Provided vitamins and mineral per kilogram DM of complete diet: vitamin A, 9,400 IU; vitamin D₃, 1,880 IU; vitamin E, 47 mg; vitamin K₃, 1.0 mg; thiamin, 0.9 mg; riboflavin, 4.7 mg; niacin, 23.5 mg; vitamin B₆, 0.9 mg; vitamin B₁₂, 0.024 mg; pantothenic acid, 12 mg; biotin, 0.19 mg; choline chloride, 118 mg; Fe, 126 mg from FeSO₄·H₂O; Cu, 21 mg from CuSO₄·5H₂O; Zn, 127 mg from ZnO; Mn, 42 mg from MnO₂; I, 0.7 mg from Ca(IO₃)₂; Co, 0.2 mg from 2CoCO₃·3Co(OH)₂·H₂O; Se, 0.2 mg from Na₂SeO₃ (Pig Supplement 0.5%; Consorzio Agrario, Udine, Italy).

^c Estimated by the NRC reference values for single ingredient (NRC, 2012).

Table 2. Chemical analysis of whole ear corn silage (ES) and particle distribution^a of coarse and milled ES.

Chemical analysis:					
DM		g/kg		585	
CP (Nx6,25)		g/kg DM		73	
NDF		g/kg DM		192	
EE		g/kg DM		33	
Ash		g/kg DM		18	
Dimension of particles retained at different sieves:					
		Coarse		Milled	
		Mean	SD ^b	Mean	SD
> 19 mm	g/kg	16	13	2	0
8.0 to 19 mm	g/kg	257	69	18	9
2.0 to 7.9 mm	g/kg	604	56	761	28
< 2.0 mm	g/kg	123	46	219	29
Average particle size	mm	4.4	0.5	2.7	0.1

^a particle distribution obtained by the Penn State Particle Separator (NASCO®).

^b SD: standard deviation.

Table 3. Effect of the physical form and inclusion level of whole ear corn silage in the diets fed to heavy pigs on fecal traits, digestibility and animal performance.

		Experimental diets ^a				SEM	P-value ^b		
		ES30		ES40			L	F	L x F
		Coarse	Milled	Coarse	Milled				
Fecal traits									
pH		6.00	6.20	5.97	6.14	0.06	0.463	0.008	0.847
DM	g/kg	257	242	239	240	6	0.047	0.175	0.118
CATTD ^c of OM		0.808	0.811	0.804	0.816	0.006	0.910	0.119	0.314
Initial LW	kg	85.6	86.7	86.7	87.9	1.7	0.539	0.487	0.984
Final LW	kg	163.3	163.2	161.1	164.5	1.9	0.919	0.338	0.312
DMI	g/kg LW ^{0.75}	76.8	76.5	78.0	76.9	0.8	0.300	0.376	0.596
ADG	g/d	777	763	745	771	14	0.380	0.646	0.168
G:F	g/g DM	0.272	0.267	0.257	0.266	0.005	0.122	0.652	0.168

^a Diet ES30 and ES40: diets with 300 and 400 g/kg of whole ear corn silage on a DM basis, respectively; SEM: standard error of the mean.

^b L=effect of the dietary inclusion level; F=effect of silage physical form; LxF=effect of interaction

^cCATTD : coefficient of apparent total tract digestibility.

Table 4. Effect of the physical form and inclusion level of whole ear corn silage in the diets fed to heavy pigs on carcass and meat characteristics.

		Experimental diets ^a				SEM	P-value ^b		
		ES30		ES40			L	F	L x F
		Coarse	Milled	Coarse	Milled				
Slaughter traits									
Carcass weight	kg	138.0	139.2	136.4	140.9	2.3	0.986	0.226	0.481
Dressing proportion		0.833	0.841	0.834	0.842	0.008	0.910	0.306	0.988
Back fat thickness	mm	31.4	31.0	31.1	31.9	1.2	0.798	0.887	0.670
<i>Longissimus dorsi</i> thickness	mm	64	63	56	60	2	0.011	0.608	0.232
Carcass lean proportion		0.473	0.473	0.464	0.466	0.006	0.232	0.910	0.822
Hams weight	kg	34.0	34.2	33.8	34.6	0.4	0.852	0.332	0.516
Loins weight	kg	14.0	14.1	13.7	13.8	0.3	0.266	0.707	0.922
Back fat weight	kg	8.6	8.4	8.6	8.8	0.3	0.490	0.956	0.478
<i>Longissimus dorsi</i> analysis:									
pH 120		5.55	5.57	5.57	5.60	0.03	0.410	0.298	0.855
Drip loss	g/kg	36.6	35.3	41.5	36.4	3.9	0.457	0.429	0.640
Cooking loss	g/kg	192	199	212	211	14	0.248	0.839	0.773
DM	g/kg	298	302	292	296	4	0.095	0.314	0.900

^a Diet ES30 and ES40: diets with 300 and 400 g/kg of whole ear corn silage on a DM basis, respectively; SEM: standard error of the mean.

^b L=effect of the dietary inclusion level; F=effect of silage physical form; LxF=effect of interaction

^c Measured 120 minutes after the slaughtering

Table 5. Effect of the physical form and inclusion level of whole ear corn silage in the diets fed to heavy pigs on stomach traits and pyloric torus weight.

		Experimental diets ^a				SEM	P-value ^b		
		ES30		ES40			L	F	L x F
		Coarse	Milled	Coarse	Milled				
Stomach weight (SW)	g	648	614	643	628	15	0.787	0.120	0.539
Stomach proportion of LW		0.0040	0.0038	0.0040	0.0038	0.0001	0.706	0.018	0.865
Stomach content and composition									
Wet weight	g	499	383	573	493	84	0.382	0.349	0.674
Dry weight	g	91.1	53.9	103.3	86.0	17.6	0.221	0.135	0.576
DM	g/kg	179	142	183	171	12	0.186	0.045	0.309
Stomach areas									
Total	cm ²	944	874	925	894	26	0.999	0.066	0.456
Esophageal	cm ²	52.8	45.3	46.3	49.5	2.9	0.701	0.464	0.081
Esophageal proportion		0.056	0.052	0.050	0.056	0.003	0.791	0.819	0.135
Fundic	cm ²	349	329	339	334	13	0.854	0.354	0.568
Fundic proportion		0.370	0.376	0.367	0.373	0.008	0.730	0.448	0.984
Pyloric	cm ²	225	214	232	216	6	0.436	0.029	0.681
Pyloric proportion		0.239	0.245	0.251	0.242	0.007	0.486	0.840	0.269
Cardiac	cm ²	318	286	308	294	12	0.941	0.084	0.472
Cardiac proportion		0.335	0.327	0.332	0.329	0.006	0.861	0.354	0.670
SW/total stomach area	g/cm ²	0.69	0.70	0.70	0.70	0.02	0.841	0.611	0.820
Pyloric torus (PT) weight	g	7.86	7.68	6.53	7.80	0.40	0.142	0.182	0.804
PT proportion of SW		0.0120	0.0125	0.0102	0.0125	0.0080	0.211	0.098	0.202

^a Diet ES30 and ES40: diets with 300 and 400 g/kg of whole ear corn silage on a DM basis, respectively; SEM: standard error of the mean.

^b L=effect of the dietary inclusion level; F=effect of silage physical form; LxF=effect of interaction

Capitolo 3

Digestibility, metabolic utilization and effects on growth and slaughter traits of diets containing whole plant corn silage in heavy pigs¹

G. Galassi, † L. Malagutti, † L. Rapetti, † G.M. Crovetto, † C. Zanfi,* D. Capraro,* and M. Spanghero*¹

†*Department of Agricultural and Environmental Sciences, University of Milan, 20133 Milan, Italy*

* *Department of Agricultural, Food, Environment and Animal Sciences, University of Udine, 33100 Udine, Italy*

¹Corresponding author. Tel: +39-432-558193; *E-mail address:* mauro.spanghero@uniud.it

Animal Feed Science and Technology (2015), accettato dopo moderata revisione

Digestibility, metabolic utilization and effects on growth and slaughter traits of diets containing whole plant corn silage in heavy pigs

Abstract

The aim of the trial was to test the inclusion of high cut whole plant corn silage (HCCS) in diets for finishing heavy pigs on digestibility, metabolic utilization, growth performance and slaughter traits. In two experiments a control diet (C, containing corn meal, barley meal, extracted soybean meal and wheat bran, 550, 250, 90 and 80 g/kg DM, respectively) was compared with a diet containing HCCS (200 g/kg on DM basis, CS) in substitution of wheat bran and part of corn meal.

In a first experiment 8 barrows (134.2 ± 5.8 kg of LW) were used in two periods cross over design with periods of 21 d, included 7 d of total collection and three cycles of 24 h each in a respiratory chamber. In a second experiment 28 barrows (89.5 ± 4.9 kg LW) were divided into pairs on the basis of LW and kept in 14 partially slatted pens (1.2×3 m) and fed with the experimental diets (7 pens/diet) until slaughter (an average LW of 170.9 ± 6.2 kg).

Diets differed for CP, NDF and P contents (137 vs 128, 138 vs 188 and 5.6 vs 5.0 g/kg DM, respectively for C and CS diets). A lower DM, OM, CP and energy CTTAD was measured for the CS diet (approximately -0.04). Overall P retention as percentage of P intake was higher for CS diet ($P=0.007$), while N retention was similar for the two diets (on average 38.0% of N intake). Pigs fed CS tended to have a lower retained energy (15.0 vs 17.0 MJ/d, $P<0.074$) and the estimated NE of corn silage was 8.47 MJ/kg DM.

In the second experiment pigs fed the CS diets had a lower daily gain (700 vs 765 g/d, $P<0.05$), a lower LW at slaughter (167 vs 175 kg, $P<0.05$) and a reduction in the weight of back fat (4.5 vs 5.4 kg, $P<0.05$). The inclusion of silage increased the size of the stomach (779 vs 692 g, $P<0.05$ and 1403 vs 1168 cm², $P<0.01$, respectively of weight and surface), the NDF concentration of stomach content (0.499 vs 0.289, $P<0.01$) and reduced the incidence of follicular gastritis (0.29 vs 1.14 n/pig, $P=0.010$).

The inclusion of 200 g/kg DM of HCCS in diets for finishing heavy pigs lowers digestibility and energy retention, and reduces growth rate and back fat deposition, but stimulates the stomach development, its filling with fibrous materials and reduces follicular gastritis.

Keywords: Pig, Corn silage, Digestibility, Energy, Growth, Slaughter traits.

Abbreviations: ADFom, neutral detergent fibre expressed exclusive of residual ash; ADG, average daily gain; BT, backfat thickness; CLP, carcass lean percentage; CP, crude protein; CTTAD, coefficient of total tract apparent digestibility; DM, dry matter; DMI, dry matter intake; EE, ether extract; EI, energy intake; HCCS, high cut corn silage; HP, heat production; LD, Longissimus dorsi; LW, live weight; ME, metabolizable energy; aNDFom, neutral detergent fibre assayed with amylase and expressed exclusive of residual ash; NE, net energy; OM, organic matter; WECS, whole ear corn silage;

1. Introduction

In Italy fattened pigs are mainly slaughtered at high live weights (160-170 kg) for the ham cured production (e.g. “prosciutto”; Bosi and Russo, 2004). The current feeding system of heavy pigs is similar to that used in other intensive pig fattening systems and is based on finely milled mixtures of cereal and protein grains and by products, which ensure high growth rate and efficient feed conversion.

However, there might be some reasons and advantages to modify part of the diets in the last fattening phase of heavy pigs (e.g. approx. more than 80 kg of LW) with the inclusion of on farm produced ensiled forages. In fact, in the final fattening period heavy pigs can digest fibre rather efficiently the fibre (Galassi *et al.*, 2005a; 2007; 2010) having a well-developed gut, similarly to sows. In addition, the ham Consortia state that the growth rate has to be moderate during fattening in order to reach the slaughter weight after 9 months of age to ensure an optimal meat quality. Preferably, this can be obtained using diets containing fibrous ingredients rather than adopting restrict feeding systems, since the coarse particles of forages are retained for a longer time in the stomach increasing the sense of satiety of the animals and preventing damages to the gastric mucosa (Di Martino *et al.*, 2013; Mason *et al.*, 2013). Finally, the on farm ensiled forages are generally cheaper than the dry concentrates from the market and can be produced with less energy expenses (e.g. energy for drying and transport) and this improve the sustainability of the system.

A potential on farm forage is represented by the whole plant corn silage (afterwards named “corn silage”), which is largely cultivated in fertile plains for ruminants feeding, but it is generally considered too fibrous and coarse for pig feeding. In previous papers (Capraro *et al.*, 2014; Zanfi *et al.*, 2014) we have demonstrated the possibility to use high levels (up to 400 g/kg of dietary DM) of whole ear corn silage (WECS) in the diets of fattening pigs. Corn silage has a higher fibre content and also a larger average particle size in comparison with WECS and it

has to be included at a lower dietary level. A way to reduce the fibre content of corn silage and to improve the quality of its fibre is to cut it, at harvest, at a higher height than usual, thus avoiding the basal part of the stalk, the most lignified. In the present trial the objective was to evaluate the digestibility, the balances of P, N and energy, the in vivo performance and the post mortem traits of heavy pigs fed a diet containing 200 g/kg DM of HCCS in the last fattening phase (above 80 kg of LW).

2. Material and methods

2.1. Corn silage, diets, and planning of the experiments

In two experiments a control diet (C, containing corn meal, barley meal, extracted soybean meal and wheat bran, 550, 250, 90 and 80 g/kg DM, respectively) was compared with an experimental diet containing HCCS (200 g/kg on DM basis, CS) in substitution of the wheat bran and of part of the corn meal. The HCCS was obtained cutting the plants, at harvest, at an average height of 60 cm from the soil, instead of the classic 20-25 cm. The diets were fed to finishing fattening heavy pigs in an experiment (Exp. 1) aimed to determine the CTTAD, N, P, and energy balance and in a feeding trial (Exp. 2) to measure the in vivo performance and the slaughter traits. In both experiments the same ingredients were used.

All animals of both experiments were Italian Large White × Italian Duroc barrows and were cared for in accordance to the guidelines on animal welfare in animal research of the Italian Legislative decree no. 116/1992 (Italian Ministry of Health, 1992).

2.2. Digestibility and metabolic trial (Exp. 1)

The two experimental diets were fed to 8 barrows, divided into 2 homogeneous groups, in a 2x2 cross-over design. Feed was restricted to allow a daily DMI of $63 \text{ g/kgLW}^{0.75}$ and pigs were fed at 08:00 and at 18:00 h and had free access to water.

In order to determine CTTAD, P, N and energy balance, the animals were housed in individual metabolic cages, in 2 consecutive periods. Each period lasted 21 days, 14 d of diet adaptation and 7 d of separate collection of excreta (testing period). During each testing period, barrows in the cages were placed individually in an open-circuit respiration chamber described by Crovetto (1984) to measure respiratory exchange over three 24-h cycles. The animals were weighed at the start of the first testing period and at the end of the second testing period (134.2 ± 5.8 and 152.6 ± 5.5 kg LW, respectively).

Heat production (HP) for each animal was calculated from Brouwer's equation (1965):

$$HP \text{ (kJ/d)} = (16.175 O_2) + (5.021 CO_2) - (2.167 CH_4) - (5.987 N)$$

where O_2 , CO_2 and CH_4 are the volumes (l/d) of the gases at standard temperature ($0^\circ C$) and pressure (760 mm Hg) conditions, consumed or produced during respiration and N is the urinary nitrogen (g/d).

The ME and the NE of the corn silage were predicted from the calorimetric measurements taking into account the corresponding values of corn meal (NRC, 2012) and wheat bran (Crovetto *et al.*, 2007) and the NE requirements for maintenance ($261 \text{ kJ/kg LW}^{0.75}$) reported by Noblet *et al.* (1993).

The ME content of the corn silage was computed by two steps as follows:

$$1) \text{ ME other} = \text{MEC diet} - (\text{ME corn} + \text{ME bran})$$

$$2) \text{ ME corn silage} = \text{MECS diet} - (\text{ME corn} + \text{ME bran} + \text{ME other})$$

where: ME other is the ME content of the other ingredients (included in the same amounts in all diets), MEC diet is the ME content of C diet, ME corn is the ME content of corn meal, ME bran is the ME content of wheat bran, ME corn silage is the ME content of corn silage, and MECS diet is the ME content of CS diet.

For the NE content of corn silage we followed the same procedure considering the corresponding NE values of feed ingredients and adding the NE maintenance (NEM) requirement to the NE content for production (NEp) of the diets determined by calorimetric measurements.

The diets were collected daily to determine the DM content after 72 h of drying at $55^\circ C$ in a forced ventilation oven. Diet samples were pooled for each period for further analysis. Before feeding, all remaining feed was removed from the trough, weighed and analyzed for DM content.

During each testing period urine was collected individually in a vessel containing 150 ml of a 20% (vol/vol) H_2SO_4 solution to maintain the pH below 2.5 and avoid ammonia loss. Urine was weighed daily, sampled (10% of total weight), pooled per pig and frozen ($-20^\circ C$) for subsequent chemical analysis. Individual faeces were daily weighed and sampled (20% of total weight), pooled per pig and frozen ($-20^\circ C$) for subsequent chemical analysis.

2.3. Feeding study and slaughter measurements (Exp. 2)

Twenty-eight barrows ($89.5 \pm 4.9 \text{ kg LW}$) were divided into pairs on the basis of LW and kept in 14 partially slatted pens to house 2 barrows ($1.2 \times 3 \text{ m}$). Each pen had a free access to water

and was equipped with two separate troughs to avoid competition for feeding. During the feeding study, the individual daily amounts of each experimental diet were prepared daily. During an adaptation phase (10 d) pigs received a unique commercial compound feed (Electa; Consorzio Agrario, Udine, Italy), containing mainly corn meal, wheat bran, and soybean meal (155, 44 and 52g/kg DM of CP, fat and ash respectively) and supplemented with antibiotics (575 and 200 mg/kg of amoxicillin and colistin, respectively) for 5 days to prevent intestinal disease and subsequently were adapted to the experimental diets (5 d).

Daily amount of DMI per pig ranged from about 80 to 62 g/kgLW^{0.75} during the whole growth from 90 to 170 kg LW and the diets were distributed in equal portions at 09.00 and 17.00 daily. Pigs were then weighed every two weeks to monitor the growth and feed samples were collected at each weighing. The animals were slaughtered at an average LW of 170.9 ± 6.2 kg by electrical stunning and after evisceration the carcasses were weighed. Back fat was measured at 8 cm to the side of the central line of the carcass between the third and the fourth last ribs, using a caliper. The carcasses were processed and the weight of the commercial cuts of hams, loins (muscle *Longissimus dorsi*, LD) and back fat were recorded before cooling. Furthermore, samples of LD muscle were collected and used for the following measures:

- the pH of meat, taken on LD muscle sections by a glass piercing electrode (Crison 52-32) connected to a pH meter at 120 min (pH120) after slaughter;
- the drip loss of meat, measured on cylinders of LD muscle (25-mm diam.) inserted in EZ-Driploss containers (Rasmussen and Andersson, 1996) and maintained at 4°C for 72 h;
- the cooking loss, measured in 5 LD muscle slices (20 mm thickness) by cooking samples in plastic bags until reaching 75° C for 45 minutes using a waterbath (Honikel 1998).
- the maximum shear force, measured on cooked cylinders (20-mm diam.) of LD muscle, using a Warner-Bratzler device with a triangular hole of 60° in the shear blade, mounted on a texture analyzer (Lloyd TA Plus; Lloyd Materials Testing, Leicester, UK) at a test speed of 100 mm/min.
- the colour values, measured using a spectrophotometer Minolta CM 2600 d (Ramsey, NJ, USA) with a 1 cm aperture, using Standard Illuminant D65 light source and 10 viewing angle geometry (The values recorded included L*, a*, b*, Chroma* and Hue* scores, and were taken on 10 points per slice of LD muscle sample).

Subsequently, samples of LD muscle were rapidly frozen and lyophilized (Animal Science and Production Association, 1996) for analysis of meat (DM, N, and ash; Nitrogen free extract was calculated by difference: 100-(CP+Ash).

The stomachs were collected at slaughter and stored at -20°C. After thawing were manipulated following the procedures described by Mason *et al.* (2013). Once opened along the greater curvature (curvature ventricles major) the organs were emptied, gently rinsed and weighed. The material in the stomach was sampled and analyzed for DM content and aNDFom.

Orthogonal photos of the outstretched stomach were taken in the same condition of brightness and the images were used to measure four anatomical areas: oesophageal, fundic, cardia and pyloric area by a dedicated software open source (ImageJ 1.48r, source freely available. Developed by Rasband W., National Institute of Mental Health, Bethesda, Maryland, USA).

Finally a macroscopic pathological examination was carried out on the internal mucosa of each stomach and lesions were grouped into four categories (hyperplastic, atrophic, follicular and simple gastritis).

2.4. Chemical analysis of feeds

Samples of HCCS, experimental diets containing HCCS and faecal samples were dried in a forced air oven (72 h at 55°C) and all samples were then milled at 1 mm screen (Pulverisette, Fritsch, Idar-Oberstein Germany). All the samples were assayed in two replications for DM (method 930.15, AOAC, 2000), crude protein (CP as nitrogen N × 6.25; method 976.05, AOAC, 2000), ether extract (EE, method 954.02, AOAC 2000), total ash content (method 942.05, AOAC, 2000). Neutral detergent fibre (aNDFom) content was measured by a fibre analyzer (Ankom II Fiber Analyzer, Ankom Technology Corporation, Fairport, NY) following the procedure of Mertens (2002).

Phosphorus was determined in feeds, faeces and urine samples by atomic absorption spectrometer Unicam Model Solar 969 (Unicam Ltd., Cambridge, UK) (AOAC 1995, method 965.17). Samples of HCCS were also analyzed for the starch content using the Megazyme kit K-TSTA (Megazyme International Ireland Ltd., Wicklow, Ireland) for total starch assay procedure according to the method 996.11 (AOAC, 1998). Gross energy of feeds, faeces and urine was measured using an adiabatic bomb calorimeter (IKA 4000, Staufen, Germany).

During the feeding trial fresh samples of corn silage (approximately 500 g each one) were fractionated using a particle separator (NASCO[®], Nasco, Fort Atkinson, WI) composed of three sieves (mesh diam. of 19, 8 and 2 mm) and a collector at the bottom. Samples were inserted in the upper sieve and the apparatus was shaken for a total of 40 horizontal movements in four directions (Kononoff *et al.*, 2003).

2.5. Statistical analysis

Data from Exp. 1 were analyzed using the PROC GLM procedure of SAS (SAS Inst. Inc., Cary, NC) using the following model:

$$Y_{ijkl} = \mu + S_i + A_j(S) + P_k + T_l + e_{ijkl}$$

where:

Y_{ijkl} = dependent variable; μ = general mean; S_i ($i = 1,2$) = sequence of treatment effect; A_j ($j = 1,4$) = animal effect nested in sequence; P_k ($k = 1,2$) = period effect; T_l ($l = 1,2$) = treatment effect; e_{ijkl} = residual error.

Data from Exp. 2 were analyzed according to a monofactorial design by using the pen as the experimental unit.

For all statistical analyses, significance was declared at $P \leq 0.05$ and trends at $P \leq 0.10$.

3. Results

3.1. Diets

Table 1 shows the ingredient composition of the compound feeds, chemical composition of whole plant corn silage and the two experimental diets. The main chemical differences between the C and the CS diets were related to the CP content (137 vs 128 g/kg DM, respectively), the NDF content (138 vs 188 g/kg DM, respectively) and the P content (5.6 vs 5.0 g/kg DM, respectively).

The particle distribution of the silage showed the highest presence of material at the 8-19 mm sieve (592 g/kg), followed by the 2.0-7.9 mm fraction (368 g/kg) with very low amounts both at top and the bottom (24 and 16 g/kg, respectively). The above particle distribution allowed to calculate an average particle size of 7.7 mm.

3.2. Digestibility and metabolic trial (Exp. 1)

Significant differences between the diets were observed for DM, OM, CP and energy CTTAD (Table 2) with higher values for the C diet. On the contrary, P digestibility was higher for the CS diet in comparison with C ($P=0.013$).

Phosphorus intake (Table 3) was higher for the C diet ($P=0.003$). This determined a lower faecal P excretion (g/d) for CS diet ($P=0.001$) in comparison with C. Urinary P excretion was also higher for the C diet ($P=0.009$) in absolute values (g/d) and when expressed as percentage of P intake ($P=0.049$). Overall P retention was similar in absolute values for the two diets (5.69 and

6.26 g/d for diets C and CS, respectively) but higher for the CS diet (P=0.007) when expressed as percentage of P intake.

Daily N balance is also reported in Table 3. Nitrogen intake was higher for the C diet (P=0.022). Faecal N excretion was similar in terms of g/d, but higher for the CS diet when expressed as percentage of N intake (P=0.012). The urinary N was higher for the C diet in absolute values (26.6 and 21.6 g/d for C and CS diets, respectively) (P=0.004) although not significantly when expressed as percentage of N intake. Consequently N retention was similar in the 2 treatments and resulted on average 38.0% of N intake.

The daily energy utilization associated with each diet is shown in Table 4. As expected from the digestibility data, faecal energy losses were higher for the CS diet both in terms of g/d (P=0.041) and when expressed as percentage of EI (P=0.009). The ME of the CS diet was equal to 35.7 MJ/d, tendentially lower than 38.3 MJ/d of the C diet (P=0.085) and resulted significantly lower than that of the C diet when expressed as percentage of EI (P=0.013). Retained energy (RE) was tendentially higher for the C diet (P=0.074) in absolute values (MJ/d) and significantly higher (P=0.024) when expressed as percentage of EI. The respiratory quotient (CO₂/O₂) of the C diet (1.11) was higher (P=0.064) than that of the CS diet (1.05).

The ME of the corn silage resulted to be 11.66 MJ/kg DM and the NE 8.47 MJ/kg DM.

3.3. Feeding study and slaughter measurements (Exp. 2)

Pigs fed the CS diets in the fattening range between 90 to 170 kg of LW had (Table 5 and 6) a lower daily gain (700 vs 765 g/d, P<0.05), a lower LW at slaughter (167 vs 175 kg, P<0.05) and a reduction in the weight of back fat (4.5 vs 5.4 kg, P<0.05). The CS diet determined a lower value of maximum load (26.1 vs 32.2 N, P<0.05), while there were no other modifications among the other *Longissimus dorsi* physical, colorimetric and chemical analyses. The inclusion of silage increased (Table 7) the size of the stomach (779 vs 692 g, P<0.05 and 1403 vs 1168 cm², P<0.01, respectively of weight and surface), the NDF concentration of stomach content (499 vs 277 g/kg DM, P<0.01) and reduced the incidence of follicular gastritis (0.29 vs 1.14 n/pig, P=0.010).

4. Discussion

4.1. Diets

In previous experiments our research groups have tested the inclusion of WECS in diets for finishing heavy pigs (Zanfi *et al.*, 2012; 2014; Capraro *et al.* 2014) in substitution of all the

wheat bran and of part of the corn meal. The overall result was that WECS can be included up to 400 g/kg of DM without any detriment on in vivo performance, slaughter traits and meat characteristics when compared with traditional soy-corn based diets at the same level of fibre content (e.g. 150 g NDF/kg DM). The present trial is a continuation of previous researches and is focused on the whole plant corn silage, which mainly differs from WECS for a double content of NDF (approx. 400 vs 200 g/kg DM): as we demonstrated that WECS can be used at high levels we decided to include the whole plant corn silage at the level of 200 g/kg DM in substitution of all the wheat bran and of part of the corn meal in a soy-corn based diet. The silage used was a high cut corn silage (60 cm from the soil on average) with low fibre and high starch contents (387 and 339 g/kg DM, respectively) and with a very low fraction of coarse particles (less than 3% of the >19 mm fraction). The high cut silage was preferred to a normal cut silage because in the basal part of the stalk there is a high concentration of lignin, which depress fibre digestibility, and a high nitrate accumulation (Masoero *et al.*, 2011). As reported in Table 1 the main chemical difference between the two diets was the NDF content, which was increased by about 5 percentage points with the HCCS inclusion.

4.2. Digestibility and metabolic trial (Exp. 1)

Digestibility coefficients of the C diet (Table 2) are consistent with those reported in a recent work (Galassi *et al.*, 2015) in heavy pigs of 2 different genetic lines. The lower DM, OM, CP and energy CTTAD registered with the HCCS diet, in comparison with the C diet, is probably due to the higher aNDFom content of this diet. Several studies report a trend for a reduction of digestibility with increasing fibre content (Yin *et al.*, 2000; Wenk, 2001; Galassi *et al.*, 2010). On the other hand, in a review by Souffrant (2001) it is underlined that many experiments show that the effect of dietary fibre on digestibility is variable due to the high variability of the physico/chemical characteristics of this nutrient. As far as fat digestibility is concerned, Dégen *et al.* (2007) reported that the interaction of fibre and fat digestibility is not yet clear. In our work the CTTAD of dietary fat decreased by 0.022 with CS diet, but not significantly.

The higher CTTAD of P with the CS diet can be attributable to the fact that in the silage the phytic P is degraded and the mineral can therefore be better utilized by monogastrics (Niven *et al.*, 2007). A higher P digestibility with high moisture corn meal in comparison with dried corn meal was also reported by Humer *et al.* (2013) in fattening pigs. The data obtained for CTTAD of P in the present experiment are consistent, for C diet, with those determined by Jolliff and Mahan (2012) and Zanfi *et al.* (2014) in growing pigs fed a diet based on corn and soybean

meal. Moreover, the amount of P added with the mineral supplementation was the same for both diets, and this resulted in a higher relative inclusion on total dietary P in CS diet. The higher bioavailability of P mineral sources can partially explain the higher P digestibility.

Considering the mineral balance (Table 3), the higher P intake for the C diet ($P=0.003$) is due to the different content of dietary P. Also for faecal P excretion, in terms of g/d, the CS diet had a lower value ($P=0.001$) than the C diet. Also when faecal P excretion is considered as percentage of P intake, the CS diet had a lower faecal P excretion than C ($P=0.013$). Similarly, urinary P excretion was lower for the CS diet. The lower excretion of P observed with the CS diet determines an equal P retention, in terms of g/d, for the 2 diets, as a result of the higher utilization ($P=0.007$) of P by pigs fed the CS diet. This is due to the higher digestibility of P registered with the CS diet.

The P intake of pigs fed CS diet was consistent with NRC recommendation (12.0 g/d) for corn and soybean meal-based diets. For growing pig from 100 to 135 kg LW the NRC (2012) reports that apparent total tract digestible P requirement is 4.98 g/d; the 2 diets tested in this trial had a CTTAD of P higher than this requirement (6.5 g/d for both C and CS diets). This confirms the high digestibility and utilization of P with the CS diet: with this diet P retained was 6.26 g/d (equal to 50.2% of P intake). As regards pigs fed the C diet, the CTTAD of P registered was similar to that reported by NRC 2012 (about 0.40).

Similarly to P, also N intake was higher with C diet ($P=0.022$), about 10% more, due to the different dietary N content. Faecal N excretion was similar for the 2 diets in terms of g/d and was higher for the CS diet when reported as percentage of N intake because lower digestibility of CS diet. In relative values the urinary N excretion was similar for the 2 treatments and was on average equal to 45.2% of N intake. By contrast, urinary N as absolute value was lower with the CS diet ($P=0.004$) and it can be concluded that the digested N was better utilized with the CS diet. Consequently, N retention was similar in the 2 treatments: 21.4 and 19.7 g/d for C and CS diets, respectively, and resulted equal to 38.0 and 37.9% of N intake. These results are in agreement with those reported by Galassi *et al.* (2010) for a diet based on corn and soybean meal for heavy pigs.

The daily EI was similar for the 2 diets. As expected from the digestibility data, faecal energy losses were greater for the CS diet than the C diet. No difference in urinary energy was found between treatments when expressed as percentage of EI (on average 2.1%); the values were little: on average 0.95 MJ/d, corresponding to 23 kJ/d per kg LW^{0.75}, so they have a limited impact on the energy balance. The ME of the CS diet was lower than that of the C diet, due to

faecal energy losses. The HP value did not show any difference in spite of the different particle size and the different fibre content of the diets.

Generally, the use of a high-fibre diet increases the HP (Ramonet *et al.*, 2000), but in our experiment this did not occur probably because pigs were fed restricted and the higher content of fibre in the CS diet may have had the effect of keeping the animals more quiet with a subsequent decrease of HP due to activity. Indeed, according to Ramonet *et al.* (2000) for pregnant sows, and Schrama *et al.* (1998) for growing pigs, the use of high-fibre diets is often associated with a reduced physical activity and it may partially compensate for the increase in HP due to the long-term metabolic processes related to fermentation.

Retained energy was lower for the CS diet than for the C diet in terms of percentage of EI ($P=0.024$) and tendentially lower in absolute value ($P=0.074$). Since the retained N resulted similar for the 2 diets, the lower energy retention has to be ascribed to a reduction in fat deposition. The RE (% of EI) values obtained in this trial are consistent with those reported for finishing pigs in other experiments (Galassi *et al.* 2004, 2005b; Noblet *et al.*, 1994b). The respiratory quotient (RQ) is correlated to fat deposition with higher values for animals that have higher fat deposition: the lower RQ registered with the CS diet ($P=0.064$) confirms therefore the lower fat deposition of the pigs fed the CS diet.

The ME content of corn silage, cut at 60 cm from the soil, resulted to be higher than that reported by INRA, 1989 (9.45 MJ/kg DM) for a corn silage characterized by a higher fibre content. Furthermore, it must be underlined that pigs weighing more than 140 kg, as those of this trial, have higher digestive capacity, especially for fibre (Galassi *et al.*, 2005b), than younger animals as those utilized by INRA. From the values of ME and NE obtained for the corn silage the conversion efficiency of ME into NE resulted to be 0.726. This value is comprised between the minimum (0.690) and the maximum (0.772) reported by Noblet *et al.* (1994a) for 61 diets for growing pigs.

4.3. Feeding study and slaughter measurements (Exp. 2)

The feeding trial was performed in the second half of fattening period of heavy pigs (from 90 to 170 kg of LW), as in our previous trials. Animals showed good health conditions and there were no refusals of the diets, which were consumed at the same level. In accordance with the previously discussed reductions in digestibility and energy contents of the diet containing silage, the LW gain was approximately 8-9% lower for the pigs fed the CS diet and this caused a reduction in slaughter LW and in carcass weight (9 and 7 kg respectively). However the

carcass weights were within the range (131-142 kg) found recently for different genetic types of heavy pigs (Schiavon *et al.*, 2015). The weights of the main carcass cuts and several physico-chemical parameters measured on the *longissimus dorsi* muscle were similar between diets, but the use of silage determined a lower deposition of the back fat in the body. On the contrary, in our previous trials (Capraro *et al.*, 2014; Zanfi *et al.*, 2014), where WECS was introduced in diets, we only observed a reduction in the dimension of the *longissimus dorsi*. However, it has to be considered that in the present trial the energy concentration (e.g. DE, ME and NE) of the CS diet was lowered with a direct impact on the performance of animals (e.g. lower growth rate and fat deposition). Whole plant corn silage has a type of fibre different from that of WECS, because stalks have a less degradable fibre in comparison with that of the cob and the husks (Masoero *et al.*, 2011) and, perhaps more important, has a larger dimension of particles. The inclusion of a coarse and a fibrous ingredient, such as the corn silage, induced a relevant modification in the development of the stomach in terms of total weight and total surface, which is due to the capacity to retain the more fibrous and coarse particles of the diet for a longer period. In fact pigs fed the CS diet doubled the NDF concentration of the gastric material in comparison with those fed the C diet.

The retention of coarse gastric material determines also a modification of the internal mucosa with a tendency to increase the hyperplastic gastritis; this has to be interpreted as a reaction of the mucosa to the presence of coarse materials in the gastric contents. By contrast, the significant reduction of follicular gastritis is probably the positive effect of a repletion of the stomach and a lower damage of mucosa by the gastric acidity.

5. Conclusion

The inclusion at 200 g/kg DM of HCCS in diets for finishing heavy pigs lowers digestibility and energy retention and causes a reduction of performance (less growth and lighter back fat). A more comprehensive evaluation of the corn silage for finishing heavy pigs should also consider both the dietary reduction of costs and also the increased animal welfare due to a more gastric repletion, and possibly a more satiety.

Conflict of interest statement

None of the authors of this paper has a financial or personal relationship with other people or organizations that could inappropriately influence or bias the content of the paper.

Acknowledgement

This research was supported by Progetto AGER, Grant No. 2011-0280.

References

- Animal Science and Production Association. 1996. Metodiche per ladeterminazione delle caratteristiche qualitative della carne. ItalianSci. Assoc. Anim. Prod., Perugia, Italy.
- AOAC., 1995. Official methods of analysis. 15th ed. Assoc. Off. Anal.Chem, Washington, DC.
- AOAC., 1998. Official methods of analysis of the AOAC International.16th ed. Assoc. Off. Anal. Chem, Washington, DC.
- A.O.A.C., 2000. Official Methods of Analysis, 17th ed. Association of Official Analytical Chemists, Gaithersburg, MD, USA.
- Bosi, P., Russo, V., 2004. The production of the heavy pig for high quality processed products. Ital. J. Anim. Sci. 3, 309-321.
- Brouwer, E., 1965. Report of sub-committee on constants and factors. In: K.L. Blaxter, editor, Proc. 3rd Symp. on Energy Metabolism. Academic Press, London, England, EAAP Publ. 11, pp. 441-443.
- Capraro, D., Zanfi, C., Bassi, M., Pascotto E., Bovolenta, S., Spanghero, M., 2014. Effect of physical form of whole ear corn silage (coarse vs wet milled) included at high dietary levels (30 vs 40% dry matter) on performance of heavy finishing pigs. Anim. Feed Sci. Technol. 198, 271-278
- Crovetto, G.M., 1984. Apparecchiature e correzioni richieste per il calcolo del calore animale usando il metodo della calorimetria indiretta a circuito aperto. Zoot. Nutr. Anim. 10, 279-297.
- Crovetto, G.M., Galassi, G., Rapetti, L., Colombini, S., 2007. Energy utilization of a diet with high wheat bran content in the fattening heavy pig. In Proc.15th Symp. Energy Metabolism in Animals, Snekkersten, Denmark, EAAP Publ. 103, 241-244.
- Dégen, L., Halas, V., Babinszky, L., 2007. Effect of dietary fibre on protein and fat digestibility and its consequences on diet formulation for growing and fattening pigs: A review. Acta Agric. Scand. 57, 1-9.
- Di Martino, G., Capello, K., Scollo, A., Gottardo, F., Stefani, A.L., Rampin, R., Schiavon, E., Marangon, S., Bonfanti, L., 2013. Continuous straw provision reduces prevalence of

- oesophago-gastric ulcer in pigs slaughtered at 170 kg (heavy pigs). *Research in Veterinary Science* 95, 1271-1273.
- Galassi, G., Crovetto, G. M., Rapetti, L., Tamburini, A., 2004. Energy and nitrogen balance in heavy pigs fed different fibre sources. *Livest. Prod. Sci.* 85, 253-262.
- Galassi, G., Crovetto, G. M., Malagutti, L., 2005a. Effect of beet pulp on growing performance, digestibility, N balance, and ammonia emission in the heavy pig. *Ital. J. Anim. Sci.* 4, 458-460.
- Galassi, G., Crovetto, G. M., Rapetti, L., 2005b. Trend of energy and nitrogen utilization of high fibre diets in pigs from 100 to 160 kg bodyweight. *Ital. J. Anim. Sci.* 4, 149-157.
- Galassi, G., Malagutti, L., Crovetto, G. M., 2007. Growth and slaughter performance, nitrogen balance and ammonia emission from slurry in pigs fed high fibre diets. *Ital. J. Anim. Sci.* 6: 227-239.
- Galassi, G., Colombini, S., Malagutti, L., Crovetto, G. M., Rapetti, L., 2010. Effects of high fibre and low protein diets on performance, digestibility, nitrogen excretion and ammonia emission in the heavy pig. *Anim. Feed Sci. Technol.* 134, 326-336.
- Galassi, G., Malagutti, L., Colombini, S., Rapetti, L., Gallo, L., Schiavon, S., Tagliapietra, F., Crovetto, G.M., 2015. Nitrogen and energy partitioning in two genetic groups of pigs fed low protein diets at 130 kg body weight. *Ital. J. Anim. Sci.*, doi: 10.4081/ijas.2015.4012.
- Honikel, K.O., 1998. Reference methods for the assessment of physical characteristics of meat. *Meat Sci.* 49, 447-457.
- Humer, E., Wetscherek, W., Schwarz, C., Schedle, K., 2013. Effect of maize conservation technique and phytase supplementation on total tract apparent digestibility of phosphorus, calcium, ash, dry matter, organic matter and crude protein in growing pigs. *Anim. Feed Sci. Technol.* 185, 70-77.
- INRA, 1989. *L'alimentation des animaux monogastriques: Porc, lapin, volailles*. INRA, Paris.
- Italian Ministry of Health. 1992. *Protezione degli animali utilizzati a fini sperimentali o ad altri fini scientifici*, D. lgs 116/92. *Gazzetta Ufficiale* 40, 5-25, Rome, Italy.
- Jolliff, J.S., Mahan, D.C., 2012. Effect of dietary inulin and phytase on mineral digestibility and tissue retention in weanling and growing swine. *J. Anim. Sci.* 90, 3012-3022.
- Kononoff, P.J., Heinrichs, A.J., Buckmaster, D.A., 2003. Modification of the penn state forage and total mixed ration particle separator and the effects of moisture content on its measurements. *J. Dairy Sci.* 86, 1858-1863.

- Masoero F., Gallo A., Zanfi C., Giuberti G., Spanghero M., 2011. Effect of nitrogen fertilization on chemical composition and rumen fermentation of different parts of plants of three corn hybrids. *Animal Feed Science and Technology*, 164, 207-216.
- Mason, F., Pascotto, E., Zanfi, C., Spanghero, M., 2013. Effect of dietary inclusion of whole ear corn silage on stomach development and gastric mucosa integrity of heavy pigs at slaughter. *The Veterinary Journal* 198, 717-719.
- Mertens, D.R., 2002. Gravimetric determination of amylase-treated neutral detergent fiber in feeds using refluxing in beakers or crucibles: collaborative study. *J. AOAC* 85, 1217–1240.
- Niven, E.J., Zhu, C., Columbus, D., Pluske, J.R., de Lange, C.F.M., 2007. Impact of controlled fermentation and steeping of high moisture corn on its nutritional value for pigs. *Livest. Sci.* 109, 166-169.
- Noblet, J., Shi, X.S., Dubois, S., 1993. Metabolic utilization of dietary energy and nutrients for maintenance energy requirements in sows: basis for a net energy system. *Br. J. Nutr.* 70, 407-419.
- Noblet, J., Fortune, H. Shi, X.S., Dubois, S., 1994a. Prediction of net energy value of feeds for growing pigs. *J. Anim. Sci.* 72, 344-354.
- Noblet, J., Shi, X.S., Dubois, S., 1994b. Effect of body weight on net energy value of feeds for growing pigs. *J. Anim. Sci.* 72, 648-657.
- NRC, 2012. Nutrient requirements of swine. 11th rev. ed. Natl. Acad. Press, Washington, DC.
- Ramonet, Y., van Milgen, J., Dourmad, J.Y., Dubois, S., Meunier-Salau, M.C., Noblet, J., 2000. The effect of dietary fibre on energy utilisation and partitioning of heat production over pregnancy in sows. *Br. J. Nutr.* 84, 85-94.
- Rasmussen, A.J., Andersson, M., 1996. New method for determination of drip loss in pork muscles. In: *Proc. 42nd Int. Congr. Meat Sci. Technol.*, Lillehammer, Norway. p. 286–287.
- Schiavon, S., Carraro, L., Dalla Bona, M. Cesaro, G., Carnier, P., Tagliapietra, F., Sturaro, E., Galassi, G., Malagutti, L., Trevisi, E., Crovetto, G.M., Cecchinato, A., Gallo, L., 2015. Growth performance, and carcass and raw ham quality of crossbred heavy pigs from four genetic groups fed low protein diets for dry-cured ham production. *Anim. Feed Sci. Technol.* doi:10.1016/j.anifeedsci.2015.07.009.
- Schrama, J.W., Bosch, M.W., Verstegen, M.W.A., Vorselaars, A.H.P.M., Haaksma, J., Heetkamp, M.J.W., 1998. The energetic value of nonstarch polysaccharides in relation to physical activity in group-housed, growing pigs. *J. Anim. Sci.* 76, 3016–3023.

- Souffrant, W.B., 2001. Effect of dietary fibre on ileal digestibility and endogenous nitrogen losses in the pig. *Anim. Feed Sci. Technol.* 90, 93-102.
- Wenk, C., 2001. The role of dietary fibre in the digestive physiology of the pig. *Anim. Feed Sci. Technol.* 90, 21-33.
- Yin, Y.-L., McEvoy, J.D.G., Schulze, H., Hennig, U., Souffrant, W.-B., McCracken, K.J., 2000. Apparent digestibility (ileal and overall) of nutrients and endogenous nitrogen losses in growing pigs fed wheat (var. Soissons) or its by-products without or with xylanase supplementation. *Livest. Prod. Sci.* 62, 119-132.
- Zanfi, C., Spanghero, M., 2012. Digestibility of diets containing whole ear corn silage for heavy pigs. *Livest. Sci.* 145, 287-291.
- Zanfi, C., Colombini, S., Mason, F., Galassi, G., Rapetti, L., Malagutti, L., Crovetto, G.M., Spanghero, M., 2014. Digestibility and metabolic utilization of diets containing whole ear corn silage and their effects on growth and slaughter traits of heavy pigs. *J. Anim. Sci.* 92, 211-219.

Table 1. Composition and analysis of the experimental diets and analysis of corn silage.

	HCCS	Diet ^a	
		C	CS
Ingredient (g/kg DM)			
Corn meal		550	430
Barley meal		250	250
Soya bean meal, extracted		90	90
Wheat bran		80	0
Corn silage		0	200
NaCl		4	4
CaCO ₃		12	12
CaHPO ₄		8	8
L-lys HCL		1	1
Supplement ^b		5	5
Chemical analysis			
DM (g/kg)	443	880	730
CP (g/kg DM)	66.3	137	128
aNDFom (g/kg DM)	387	138	188
ADFom (g/kg DM)	221	46.3	78.4
EE (g/kg DM)	26.2	27.4	25.5
Ash (g/kg DM)	36.1	49.8	51.2
Starch (g/kg DM)	339	495	501
P (g/kg DM)	3.7	5.6	5.0
GE (MJ/kg DM)	18.45	17.89	17.99

^aDiet C and CS: diets with 0 and 200 g/kg of high cut whole plant corn silage on a DM basis, respectively.

^bSupplied per kilogram DM of complete diet: vitamin A, 9,400 IU; vitamin D₃, 1,880 IU; vitamin E, 47 mg; vitamin K₃, 1.0 mg; vitamin B₁, 0.9 mg; vitamin B₂, 4.7 mg; vitamin B₃, 23.5 mg; vitamin B₆, 0.9 mg; vitamin B₁₂, 0.024 mg; pantothenic acid, 12 mg; biotin, 0.19 mg; choline chloride, 118 mg; Fe, 126 mg from FeSO₄.H₂O; Cu, 21 mg from CuSO₄.5H₂O; Zn, 127 mg from ZnO; Mn, 42 mg from MnO₂; I, 0.7 mg from Ca(IO₃)₂; Co, 0.2 mg from 2CoCO₃ 3Co(OH)₂.H₂O; Se, 0.2 mg from Na₂SeO₃ (Pig supplement 0.5%, Consorzio Agrario, Udine, Italy).

Table 2. Coefficients of total tract apparent digestibility of diets containing or not corn silage for pigs weighing 143 kg (8 animals in cross-over design).

Item	Diet ^a		SEM	P
	C	CS		
DM	0.862	0.826	0.005	0.003
OM	0.884	0.847	0.004	0.002
CP	0.852	0.811	0.007	0.012
EE	0.755	0.733	0.040	0.138
aNDFom	0.552	0.509	0.019	0.174
ADFom	0.448	0.404	0.024	0.252
Ash	0.445	0.431	0.013	0.512
P	0.450	0.537	0.016	0.013
Energy	0.860	0.824	0.604	0.009

^aDiet C and CS: diets with 0 and 200 g/kg of high cut whole plant corn silage on a DM basis, respectively; SEM: standard error of the mean.

Table 3. Effects of dietary corn silage on P and N balance in heavy pigs (8 animals in cross-over design).

Item	Diet ^a		SEM	P
	C	CS		
P intake (PI) (g/d)	14.5	12.3	0.3	0.003
Faecal P				
(g/d)	7.98	5.69	0.25	0.001
(% PI)	55.0	46.3	1.6	0.013
Urinary P				
(g/d)	0.84	0.42	0.07	0.009
(% PI)	5.77	3.51	0.62	0.049
P retained				
(g/d)	5.69	6.26	0.32	0.265
(% PI)	39.2	50.2	1.8	0.007
N intake (NI) (g/d)	56.4	50.9	1.1	0.022
Faecal N				
(g/d)	8.37	9.61	0.46	0.116
(% NI)	14.8	18.9	0.7	0.012
Urinary N				
(g/d)	26.6	21.6	0.7	0.004
(% NI)	47.2	43.2	2.3	0.267
N retained				
(g/d)	21.4	19.7	1.5	0.461
(% NI)	38.0	37.9	2.4	0.991

^aDiet C and CS: diets with 0 and 200 g/kg of high cut whole plant corn silage on a DM basis, respectively; SEM: standard error of the mean.

Table 4. Effects of dietary corn silage on energy utilization in heavy pigs (8 animals in cross-over design).

Item	Diet ^a		SEM	P
	C	CS		
Energy intake (EI) (MJ/d)	46.1	44.6	1.1	0.365
Energy in faeces				
(MJ/d)	6.47	7.87	0.36	0.041
(% EI)	14.0	17.6	0.6	0.009
Energy in urine				
(MJ/d)	1.03	0.85	0.02	0.004
(% EI)	2.23	1.93	0.08	0.044
Energy in CH ₄				
(MJ/d)	0.30	0.17	0.03	0.035
(% EI)	0.65	0.39	0.06	0.030
Energy metabolized				
(MJ/d)	38.3	35.7	0.9	0.085
(% EI)	83.1	80.1	0.6	0.013
Heat production				
(MJ/d)	21.3	20.7	0.3	0.167
(% EI)	46.3	46.5	0.7	0.817
Energy retained				
(MJ/d)	17.0	15.1	0.6	0.074
(% EI)	36.8	33.6	0.7	0.024
Respiratory Quotient				
(RQ)	1.11	1.05	0.02	0.064

^aDiet C and CS: diets with 0 and 200 g/kg of high cut whole plant corn silage on a DM basis, respectively; SEM: standard error of the mean.

Table 5. Live weights, intakes and daily gains of pigs fed the experimental diets.

Item	Diet ^a		SEM	P ^b
	C	CS		
Initial LW (kg)	90.1	88.9	1.9	0.662
Final LW (kg)	175.1	166.6	2.4	0.026
DM intake (g/kg LW ^{0.75})	70.3	72.5	0.8	0.099
ADG (g/d)	765	700	17	0.023
G:F (g/g DM) ^b	0.28	0.25	0.01	0.018

^aDiet C and CS: diets with 0 and 200 g/kg of high cut whole plant corn silage on a DM basis, respectively; SEM: standard error of the mean.

^bPens, each composed of 2 barrows, were the experimental units in the statistical model (7 pens per diet).

Table 6. Effect of the inclusion level of corn silage in the diets fed to heavy pigs on carcass and meat.

	Diets ^a		SEM	P ^b
	C	CS		
Slaughter traits				
Carcass weight (kg)	140.8	133.6	2.2	0.037
Dressing proportion	0.804	0.801	0.003	0.596
Back fat thickness (mm)	29.2	27.3	1.3	0.300
Carcass lean weight and proportion				
Hams weight (kg)	17.7	17.1	0.3	0.155
Hams proportion	0.126	0.128	0.001	0.078
Loins weight (kg)	7.04	6.85	0.13	0.355
Loin proportion	0.050	0.051	0.001	0.337
Back fat weight (kg)	5.42	4.50	0.25	0.021
Back fat proportion	0.038	0.034	0.001	0.038
<i>Longissimus dorsi</i> analysis				
pH 120 ^c	5.83	5.81	0.02	0.549
Drip loss (g/kg)	5.96	6.46	0.40	0.382
Cooking loss (g/kg)	31.2	30.3	0.4	0.117
Maximum load (N)	32.2	26.1	1.9	0.045
Total work (J)	0.25	0.21	0.01	0.050
Colorimetric analysis				
L*	50.0	49.0	1.3	0.349
a*	-0.91	-0.29	0.30	0.168
b*	10.6	11.5	0.3	0.099
Chroma*	10.7	11.6	0.3	0.090
Hue*	95.3	91.8	1.7	0.169
Chemical analysis				
DM (g/kg)	324	321	4.0	0.500
Ash (g/kg DM)	39.6	40.0	0.7	0.719
CP (g/kg DM)	808	799	11	0.572
NFE ^d (g/kg DM)	152	161	12	0.606

^aDiet C and CS: diets with 0 and 200 g/kg of high cut whole plant corn silage on a DM basis, respectively; SEM: standard error of the mean.

^bPens, each composed of 2 barrows, were the experimental units in the statistical model (7 pens per diet).

^cMeasured 120 minutes after the slaughtering.

^dNFE: Nitrogen free extract, obtained by difference: 100- (PG + Ash)

Table 7. Effect of the inclusion level of corn silage in the diets fed to heavy pigs on stomach traits and gastric mucosal disease.

	Diets ^a		SEM	P ^b
	C	CS		
Stomach weight full (g)	2032	2706	271	0.106
Stomach weight (g)	692	779	25	0.028
Stomach content and composition				
Content weight (g)	1346	1928	267	0.149
DM (g/kg)	268	231	15	0.103
aNDFom (g/kg)	277	499	23	<0.001
Total (cm ²)	1168	1403	49	0.005
Esophageal (cm ²)	50.1	65.0	3.4	0.010
Esophageal proportion	0.043	0.047	0.002	0.278
Fundic (cm ²)	471	519	15	0.045
Fundic proportion	0.404	0.371	0.009	0.029
Pyloric (cm ²)	251	312	11	0.002
Pyloric proportion	0.223	0.214	0.007	0.369
Cardiac (cm ²)	396	507	30	0.022
Cardiac proportion	0.339	0.358	0.011	0.243
Stomach weight/stomach area (g/cm ²)	0.60	0.56	0.03	0.388
Gastritis (n/pig)				
Hyperplastic	2.57	3.97	0.48	0.069
Follicular	1.14	0.29	0.20	0.010
Atrophic	0.07	0.00	0.05	0.337
Simple	0.02	0.00	0.11	0.175
Total	4.00	4.21	0.43	0.730

^aDiet C and CS: diets with 0 and 200 g/kg of high cut whole plant corn silage on a DM basis, respectively; SEM: standard error of the mean.

^bPens, each composed of 2 barrows, were the experimental units in the statistical model (7 pens per diet).

Capitolo 4

Back fat fatty acid composition and hams weight losses during seasoning of heavy pigs fed whole ear or high cut whole plant corn silages.

D. Capraro^a, A. Buccioni^b, E. Piasentier^a, M. Spanghero^{a*}

*^aDepartment of Agricultural, Food, Environment and Animal Sciences, University of Udine,
33100 Udine, Italy;*

*^bDepartment of Agri-food Production and Environmental Sciences, University of Florence,
50144 Florence, Italy.*

*Corresponding author: Tel: +39-432-558193; Fax: +39-432-558199. *E-mail address:*

mauro.spanghero@uniud.it

Meat Science (2016) in revisione

Back fat fatty acid composition and hams weight losses during seasoning of heavy pigs fed whole ear or high cut whole plant corn silages.

Abstract

The effect of diets containing corn silages (whole ear or whole plant corn silages, WECS and HCCS, respectively) on fatty acid composition of back fat and the weight loss of hams during the seasoning process were examined in Italian heavy pigs (from 80 to 160 kg of live weight). In each trial animals was fed the same control diet (C) or an experimental diet containing respectively 30% of DM WECS (trial 1) or 20% DM of HCCS (trial 2) in substitution of bran and part of the corn meal.

The inclusion of silages did not modified the hams weight losses during seasoning, while determined a significant increase of the saturated fraction (from 40.6 to 41.9 %, $P < 0.05$), mainly due to the increase of the C 18:0 fatty acid (from 14.3 to 15.2 %, $P < 0.01$). The inclusion of coarse corn silages in diets for heavy pigs has no detrimental effects on the weight loss during ham seasoning, while it increments the saturated fatty acids in the back fat.

Key words: heavy pigs, back fat, fatty acid, ham traits

1. Introduction

The pig system production in Italy is mainly based on fattening heavy pigs (e.g. 160-170 kg of BW) which furnish several meat cuts suitable for processing industry. The most valuable cut are the fresh hams (16-17 kg of weight), which are used for long seasoning process to obtain a much appreciated cured ham (“prosciutto”). The feeding system of heavy pigs for prosciutto has a Protected Designation of Origin (Bosi and Russo, 2004) and the list of permitted feeds includes also several silages obtained from the corn plant, such as the whole ear corn silage (WECS) and high cut whole plant corn silage (HCCS). However both WECS and HCCS are not commonly used in fattening pigs since are considered to be too coarse and fibrous.

In recent studies Zanfi *et al.* (2014), Capraro *et al.* (2014) and Galassi *et al.* (2015) have demonstrated that WECS and HCCS can be included in diets for heavy pigs without detrimental effects both on growth nor on the main slaughter traits. In addition, these silages are farmland grown feed resources, which allow reducing off-farm feeds transports and drying energy

consumptions and have potential dietary benefits allowing the satiety of animals and reducing the ulceration of stomach (Mason *et al.*, 2013).

On the basis of these results, we were stimulated to complete our studies by examining possible effects of diets containing coarse WECS and HCCS on some aspects of meat quality in heavy pigs, such as the fatty acid composition of fat and the weight loss of hams during the seasoning process for the “prosciutto” production.

2. Material and methods

In present paper we present data obtained from two feeding trials, which were detailed described in previous manuscript (Zanfi *et al.*, 2014; Galassi *et al.*, 2015). All animals were cared for in accordance to the Italian Legislative law (decree No. 116/1992, Italian Ministry of Health, 1992) and here we give only a synthetic description of the trials.

In both trials “Italian Large White x Italian Duroc” pigs (about five months of age and 80 kg of live weight, LW) were divided into pairs, homogeneous for LW and kept in pens (1.2 x 3 m, partially-slatted), which had free access to water and were equipped with two separate troughs to avoid competitions for the intake. From the first trial (Zanfi *et al.*, 2014) we used data from 28 barrows divided in two groups (7 pens and 14 animals each one) and fed a control diet (C), based on dry corn, barley, wheat, soya bean, wheat bran and supplement (47, 23, 10, 9, 8 and 3 % DM, respectively) and a diet containing WECS in chopped form (30% DM, ES30) in partly or complete substitution of corn meal and wheat bran. In the second trial (Galassi *et al.*, 2015) 28 pigs were divided into 2 groups (7 pens and 14 animals each one) and were fed a C diet similar to that of trial 1 or an experimental diet containing 20% DM of HCCS in substitution of bran and part of the corn.

The animals were slaughtered at an average LW of 167 (± 3.6) and 163 (± 1.9) Kg, in trial 1 and 2 respectively, by electrical stunning and then were exsanguinated. The carcasses were weighted, dissected into commercial cuts and hams and back fats were weighted before cooling. The experimental data used to prepare this paper were measured on animals fed two diets in trial 1 (diets C and ES30) and two diets in trial 2 (diets C and HCCS).

2.1 Fatty acid profiles

Fatty acid profiles were analyzed on 56 samples of back fat (28 pigs from trial 1 and 2, respectively). Samples of 150 to 200 g of tissue were collected right after slaughter and minced and two aliquots of 2.5 g were used for lipid extraction. Lipids were extracted according to the

methanol–chloroform method of Folch *et al.* (1957) and fatty acid methyl esters (FAME) were prepared according to Christie (1993). Then FAME were separated by gas chromatography according to (Renaville *et al.*, 2013) and quantified using C19:0 as internal standard. Data were expressed as g/100 g of fatty acids.

Iodine value was calculated according to AOAC (1998) equation: $(C16:1*(0.95))+(C18:1*(0.86)+(C18:2 *1.732)+(C18:3*2.616))$.

2.2 Ham weights

The left ham of each pig was weighted immediately after slaughter and then hams were chilled (0–2 °C) for 24 h and then sent for the seasoning to a factory of the municipal of “San Daniele del Friuli”, where they were trimmed to obtain the typical ham round-shape. The trimmed hams were weighted and then followed the approved procedure for the production of San Daniele ham. The thighs were then weighed for a total 5 times during the “prosciutto” curing process in correspondence of main important phases (e.g. after salting, greasing, trimming, resting, end of seasoning).

2.3 Statistical analysis.

The statistical analysis of the data were performed according to the following two factorial design by using the pen as the experimental unit (average data of two animals):

$$Y_{ijkl} = \mu + D_i + T_k + e_{ijkl}$$

where: Y_{ijkl} = dependent variable; μ = general mean; D_i ($i = 1,2$) dietary treatment effect; T_k ($k = 1,2$) trial effect; e_{ijkl} = residual error.

3. Results and discussion

We utilized back fat samples and hams from animals fed in a first trial (Zanfì *et al.*, 2014) a control diet (dry corn meal, wheat bran and soya) and a diet where wheat bran and part of the dry corn were replaced up to 300 g/kg DM with WECS (ES30 diet). The animals of the second trial were fed a control diet similar to that of trial 1 and a diet containing HCCS (200 g/kg DM, Galassi *et al.*, 2015).

Overall, the four experimental diets had similar contents of CP, ether extract and NDF (e.g. ranges of 13-15, 3-4 and 15-16% DM, respectively), with the only exception for a higher NDF content of the HCCS diets (18-19% DM). Both WECS and HCCS silages were not milled and

maintained their original coarse physical form with an average dimension of particles of about 3 and 8 mm, respectively.

The weight loss of hams during seasoning is a technological process, which is due to progressive dehydration of hams. This phenomenon is favored by the penetration of the salt inside the ham meat, which determines a reduction of water activity and consequently a loss of water due to osmosis conditions. The weight loss of hams has to be distinguished in an initial part (e.g. within 24 h from slaughter) which include the refrigeration of hams, the transport and some material losses due to trimming to obtain the typical ham round-shape and a second part of losses are due to losses of water. The initial fresh weight of hams (Table 1) was very homogeneous between the two trials (range 17.0-17.6 kg), given the similar weight of animals at slaughter and the same genetic used in both trials. The weight loss during whole seasoning (range 30-31%) agrees with values reported for heavy pigs by Piasentier *et al.* (2011) on four genetic types (range 28-31%) trial and is only slightly higher than that (28 %) found by Cecchinato *et al.* (2013).

It is well known that the entity of dehydration of hams is inversely related to the depth of the fat cover of the ham (Buscaillon and Monin, 1994; Gou *et al.*, 1995). In both trials, the slaughter traits were similar among dietary treatments and the back fat thickness was higher (first trial) or not different from the control diets (second trial). On the basis of these results and knowing that a relationship between back fat depth at loin and ham fat cover has been demonstrated (Cecchinato *et al.*, 2013), we expected to find similar weight loss of hams between the dietary treatments. Given the absence of any relevant difference between dietary treatments in terms of weight loss in the whole seasoning process, we should conclude that the ratio between the cover fat and muscle was probably not dissimilar between the dietary treatments.

Fresh and whole seasoning weight losses were similar between trials, while some intermediary weights differed, probably because of some differences in seasoning procedure in the two factories where the hams were processed.

The preferred fatty acid profile of meat fat is dependent upon the quality criteria adopted. In fact in terms of consumer health it would be preferable to have a decrease of saturated fatty acid to reduce several risks, primarily represented by coronary disease (Wolfman, 2003). On the contrary, from a technological and sensorial perspective of quality, a high proportion of polyunsaturated fatty acids (PUFA) causes the formations of oxidation complex, which alter the flavors and reduce the firmness and cohesiveness of fat.

As can be seen from Table 2, the fatty acid composition of back fat is similar to that reported from others (Piasentier *et al.*, 2009) in the Italian heavy pigs, with a partition of 40:45:15 between saturated (SFA), mono-unsaturated (MUFA) and PUFA respectively. The ‘trial effect’ was significant for the majority of fatty acid contents and this can be due to several different experimental conditions of the two trials (genetics within the same genetic type, chemical composition of ingredients, differences between the two analytical runs of fatty acids, etc.). The dietary inclusion of silages determined a significant increase of the saturated fraction (41.88 vs 40.58 %, $P < 0.01$), mainly due to the increase of the C 18:0 fatty acid (15.16 vs 14.32 %, $P < 0.01$) and a tendency of reduction of the C 18:1 n-9 (40.45 vs 41.25%, $P = 0.08$).

It is well known the impact of dietary fat composition on fats deposited in pig tissues (Wood *et al.*, 2003), but in our trials the levels of dietary fat were low and very close among the experimental diets, given that corn silages substituted mainly the dry corn. On the contrary, diets differed in terms of dimension of feed particles, because the silages were added in coarse form. In both trials, we measured a lower pH of the feces associated with the highest ES presence in diets. Because of the coarse particle size of the silages, the passage rate of undigested material in the gut resulted in an intensive fermentation in the lower digestive tract. This could have some implications on fatty acid composition because a higher proportion of SFA produced by fermenting bacteria could be absorbed in the lower digestive tract. In a recent metabolic trial with pigs a colonic fermentation was stimulated by diets containing indigestible starch (resistant starch or arabinoxylans) and it was compared with diet based on cereal meals: the measured concentrations of volatile fatty acids were approximately doubles in different sites of measure (mesenteric artery, portal and hepatic vein) as well the net portal flux (Ingerslev *et al.*, 2014).

We speculate that the inclusion of coarse corn silages stimulates the fermentation activity in the lower tract of the intestine and increments the supply of volatile fatty acids which can partly be used for the lipid synthesis.

4. Conclusions

The results indicate that inclusion of coarse corn silages in diets for heavy pigs has no detrimental effect on back fat fatty acid composition and weight loss of ham in seasoning. The observed increase of saturated fats in the back fat could be associated to an increased colonic fermentation of the diets containing silages, but this requires direct validations.

5. Acknowledgements

Supported by *Progetto AGER*, grant n° 2011-0280. Thanks are due to dr. Angela Sepulcri for the fatty acid analysis.

6. References

- AOCS, (1998). Official methods and recommended practices of the American Oil Chemists' Society. Recommended practice. Cd 1c-85 (5th ed.). Champaign, IL: American Oil Chemists' Society.
- Bosi, P., & Russo, V., (2004). The production of the heavy pig for high quality processed products. *Italian Journal of Animal Science*, 3, 309–321.
- Buscailhon, S., & Monin, G., (1994). Dèterminisme des qualities sensorielles du jambòn sec. 2ème partie. *Viandes et produits carnès*, 15, 39-48.
- Capraro, D., Zanfi, C., Bassi, M., Pascotto E., Bovolenta, S., & Spanghero, M., (2014). Effect of physical form of whole ear corn silage (coarse vs wet milled) included at high dietary levels (30 vs 40% dry matter) on performance of heavy finishing pigs. *Animal Feed Science and Technology*, 198, 271-278
- Cecchinato, A., Schiavon, S., Tagliapietra, F., & Gallo, L., (2013). Relationships between in vivo measurements of backfat thickness and several carcass and ham traits in heavy pigs. *Agriculturae Conspectus Scientificus*, 78, 255-258
- Christie, W. W., (1993). Preparation of ester derivatives of fatty acids for chromatographic analysis. In W. W. Christie (Ed.), *Advances in lipid methodology – Two*. (pp. 69-111) Dundee: Oily Press.
- Folch, J., Lees, M., & Stanley, G.H.S., (1957). A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *Journal of Biological Chemistry*, 226, 497–509.
- Galassi, G., Malagutti, L., Rapetti, L., Crovetto, G.M., Zanfi, C., Capraro, D., *et al.*, (2015). Digestibility, metabolic utilization and effects on growth and slaughter traits of diets containing corn silage for heavy pigs. *Animal Feed Science and Technology*.
- Gou, P., Guerrero, L., & Arnau, J., (1995). Sex and crossbreed effects on the characteristics of dry-cured ham. *Meat Science*, 40, 21–31.

- Ingerslev, A.K., Theil, P., Hedemann, M.S., Lærke, H.N., & Knudsen, K.E.B., (2014). Resistant starch and arabinoxylan augment SCFA absorption, but affect postprandial glucose and insulin responses differently. *British Journal of Nutrition*, 111, 1564–1576
- Laureati, M., Buratti, S., Giovanelli, G., Corazzin, M., Lo Fiego, D.P., & Pagliarini, E., (2014). Characterization and differentiation of Italian Parma, San Daniele and Toscano dry-cured hams: a multi-disciplinary approach. *Meat Science*, 96, 288–294
- Mason, F., Pascotto, E., Zanfi, C., & Spanghero, M., (2013). Effect of dietary inclusion of whole ear corn silage on stomach development and gastric mucosa integrity of heavy pigs at slaughter. *The Veterinary Journal*, 198, 717-719.
- Piasentier, E., Di Bernardo, N., Morgante, M., Sepulcri, A., & Vitale M., (2009). Fatty acid composition of heavy pig backfat in relationship to some animal factors. *Italian Journal of Animal Science*, 8, 531-533.
- Piasentier, E., Comuzzi, G., Favotto, S., Saccà, E., Sepulcri, A., Vitale, M., *et al.*, (2011). Caratteristiche del prosciutto di San Daniele in rapporto al tipo genetico. *Qualità e sicurezza nella filiera del prosciutto -Volume II.* (pp. 60-79), SoZooAlp.
- Renaville, B., Prandi, A., Fan, B., Sepulcri, A., Rothschild, M.F., & Piasentier, E., (2013). Candidate gene marker associations with fatty acid profiles in heavy pigs. *Meat Science*, 93, 495–500.
- Russo, V., (1989). Utilization and evaluation of the Italian heavy pig carcass. The production of pig meat in Mediterranean Countries. (pp 187-193) CHIEAM, Options Mediterranèennes Série Etudes, Paris.
- Wolfram, G., (2003). Dietary fatty acids and coronary heart disease. *European Journal of Medical Research*, 8, 321–324.
- Wood, J.D., Richardson, R.I., Nute, G.R., Fisher, A.V., Campo, M.M., Kasapidou, E., *et al.*, (2003). Effects of fatty acids on meat quality: a review. *Meat Science*, 66, 21–32
- Zanfi, C., Colombini, S., Mason, F., Galassi, G., Rapetti, L., Malagutti, L., *et al.*, (2014). Digestibility and metabolic utilization of diets containing whole ear corn silage and their effects on growth and slaughter traits of heavy pigs. *Journal of Animal Science*, 92, 211-219.

Table 1. Weights of hams after slaughtering and during the curing process.

	Diets ^a (D)		Trial (T)		Effect		RSME	
	Control	Corn silages	1	2	D	T		
<i>Weights of hams (kg)</i>								
Warm ^b	17.76	17.23	17.31	17.68	0.13	0.29	0.88	
Cold ^c	15.09	14.61	15.23	14.46	0.11	0.01	0.76	
After salting ^d	14.11	13.86	14.64	13.27	0.56	<0.01	0.88	
After trimming ^e	13.27	12.82	13.80	12.22	0.19	<0.01	0.75	
After drying ^f	11.86	11.51	12.09	11.27	0.19	<0.01	0.69	
Pre-greasing ^g	10.81	10.35	10.73	10.40	0.08	0.18	0.62	
After seasoning ^h	10.46	9.97	10.47	9.92	0.06	0.03	0.63	
<i>Partial percentage decreasesⁱ</i>								
From the slaughterhouse to ham producer	%	14.98	15.22	12.04	18.17	0.53	<0.01	0.98
<i>Weight losses^l (%)</i>								
After salting		6.49	5.13	3.89	7.82	0.19	<0.01	2.92
After trimming		12.06	12.26	9.41	15.13	0.98	<0.01	1.78
After drying		21.14	21.21	20.64	21.75	0.96	0.14	1.88
Greasing		28.28	29.06	29.56	27.75	0.24	0.02	1.86
Seasoning		30.64	31.73	31.31	31.10	0.16	0.79	1.97

^a Diets: Control: control diet; Corn silage: diets containing WECS and HCCS. RMSE Root Mean Standard Error

^b Measured 30 minutes after the slaughtering

^c Weighing took place the day after slaughter, after a night at 4 ° C and after trimming done in the slaughterhouse (before the conferment at ham producer)

^d Weighing took place at the end of salting of ham (the salting lasts for 1 day for each kg)

^e Weight of start resting

^f Weight at 120 day

^g Weight at 180 day

^h Weight at 390 day

ⁱ Difference between the warm weight at slaughter and the cold weight and after trimming detected in ham producer

^l Weight loss during the curing process

Table 2. Fatty acid profiles in back fat from carcasses of heavy pigs.

	Diets ^a (D)		Trial (T)		Effect		RSME
	Control	Corn silages	1	2	D	T	
<i>Fatty acid (%)^b</i>							
C12:0	0.07	0.07	0.08	0.06	0.17	<0.01	0,01
C14:0	1,30	1,34	1,36	1,27	0.15	<0.01	0,11
C15:0	0.04	0.05	0.03	0.06	0.27	<0.01	0,01
C16:0	24.54	24.95	24.48	25.01	0.17	0.08	1,10
C16:1	1.74	1.77	1.78	1.73	0.48	0.37	0,18
C17:0	0.32	0.31	0.26	0.37	0.77	<0.01	0,05
C18:0	14.32	15.16	14.10	15.37	0.02	<0.01	1,23
C18:1 n-9	41.25	40.45	42.24	39.46	0.08	<0.01	1,65
C18:1 n-7	2.18	2.21	1.89	2.50	0.74	<0.01	0,21
C18:2 n-6	13.62	13.07	13.26	13.43	0.21	0.69	1,59
C18:3 n-3	0.63	0.62	0.52	0.73	0.97	<0.01	0,09
<i>Fatty acid profile (%)^c</i>							
SFA	40.58	41.88	40.31	42.15	0.03	<0.01	2,05
MUFA	45.17	44.42	45.90	43.69	0.15	<0.01	1,90
PUFA	14.25	13.70	13.78	14.16	0.23	0.41	1,66
<i>Calculated iodine value</i>	64,24	62.63	63.97	62.90	0.05	0.17	2.84

^aDiets: Control: control diet; Corn silage: diets containing WECS and HCCS. RMSE Root Mean Standard Error

^bPercentage of total determined fatty acid

^c SFA; saturated fatty acids. MUFA; monounsaturated fatty acids. PUFA; Polyunsaturated fats

Capitolo 5

Topographic distribution of gastritis in heavy pigs by means of a Geographic information system (GIS) approach

Ernesto Pascotto¹, Diego Capraro², Paolo Tomè², and Mauro Spanghero²

¹Unità Locale Socio Sanitaria, Asolo, Treviso, Italy; ² Department of Agricultural, Food, Environment and Animal Sciences, University of Udine, 33100 Udine, Italy.

Corresponding author:

Mauro Spanghero

Department of Agricultural, Food, Environment and Animal Sciences

University of Udine, 33100 Udine, Italy

Tel: +39-432-558193; Fax: +39-432-558199.

E-mail address: mauro.spanghero@uniud.it

Geospatial Health (2016) accettato, in corso di stampa

Topographic distribution of gastritis in heavy pigs by means of a Geographic information system (GIS) approach

Keywords: pigs; gastritis; topographic distribution; Geographic information systems (GIS), Italy

Conflict of interests: none of the authors of this paper has a financial or personal relationship with other people or organizations that could inappropriately influence or bias the content of the paper.

Funding: part of this work was supported by Progetto AGER, grant n° 2011-0280.

Abstract

The aim of this paper was to determine the topographic distribution of gastritis lesions in pigs through an open source Geographic information systems (GIS) software analysis. The stomachs of 146 Italian heavy pigs were collected at slaughter and subjected to a macroscopic pathological examination of the internal mucosa. A total of 623 lesions were either classified as hyperplastic or follicular (97%) with the remaining minority of lesions categorized as atrophic and simple. The hyperplastic gastritis lesions had an average surface of 77.8 cm² and were mainly located in an oval shaped area of the fundus region of the stomach near the *Curvatura ventriculi major*. The follicular gastritis lesions had generally a smaller surface (40.3 cm²) and were concentrated in two distinct small areas of the pyloric region. The GIS analysis provided the opportunity to produce useful maps showing the distribution and characteristics of gastritis in pigs.

Introduction

The ability to create risk maps with respect to the anatomic location of lesions in organs can be an important tool for the identification and diagnosis of several diseases. Geographic information systems (GIS) software is an example of powerful computer software tools suitable for storage, analysis and management of epidemiological data. Although GIS is mainly applied for the investigation of the localization and distribution of cases of various diseases in the environment, it can also be used for the positioning of pathology of organs in the body, as described by Daraban *et al.* (2014), Pascotto *et al.* (2014) and Imanieh *et al.* (2015). The aim of present investigation was to determine the topographic distribution of gastritis lesions in pigs through the application of open source GIS software. The research has a practical impact

because pigs are sensitive with regard to damage of the gastric mucosa (due to stress and feeding practices) and are considered a suitable animal model for a similar approach in human medicine (Malfertheiner and Ditschuneit, 2011).

The topographic approach to gastritis in human medicine has generally used a "regional approach", by focusing on the involvement of different areas of the stomach (Hebel, 1948). Thereafter, the topographic analysis of gastritis has progressively specialized by using a "sectors and points" approach, eventually developing into the modern systems described as the Sydney System (Dixon *et al.*, 1996) or the Operative Link for Gastritis Assessment (Rugge and Genta, 2005). However, accurate research on the major search engines of abstracts, has highlighted a limited use of the topographic approach to the description and localization of gastritis lesions, both in human and animal medicine.

Materials and methods

The stomachs of 146 Italian heavy pigs (Italian Large White × Duroc Italian) were collected at slaughter and subjected to a macroscopic pathological examination with the aim of detecting any internal mucosa damage. For manipulation of the stomachs and analysis the methodology described by Mason *et al.* (2013) was followed and histopathology was used to evaluate questionable lesions. Each pathological relief was recorded and characterized based on its macroscopic aspect and extension, then identified with regard to its topographical limits and reported in a georeferenced original map of stomach internal mucosae. The lesions referred to as gastritis were classified giving them a score of intensity from 1 (mild lesion) to 5 (severe gastritis) and gathered into four categories (Marcato, 2002): 1) hyperplastic: mucosa thickened and covered with mucus; 2) follicular: mucosa with lymphatic follicles swollen and gray-whitish color; 3) atrophic: mucosa having a flattened epithelium, with the reduction or disappearance of the folds and with increased connective tissue; 4) simple: superficial inflammation of the *lamina propria*, which can be replaced by connective tissue with no presence of lymphoid follicles.

Characteristics and localization of each lesion were collected into a specific relational web database, created using open-source software and including: 1) the operating system (Linux Ubuntu 10.10); 2) a relational management system to create the database (MySQL AB version 5.1); 3) an user-friendly graphical interface obtained from a web application framework written in PHP (Symfony version 1.2.4) and a web server (Apache HTTP Server version 2.2);

and 4) a Web GIS platform integrated into the web database (GeoServer v.2.0, OpenLayers library v.2.0).

In order to identify spatial patterns, “hotspots” and clustering of lesions, data were processed into an open-source Geographic information system software (QGIS © 2015 OSGeoProject) by the following two algorithms:

- 1) ‘Adjust n point to polygon’ (© 2015 Victor Olaya) through which it was created a new points layer with a given number of points added inside the area covered by each lesion, and distributed in a regular grid. The number of points for each lesion (relative frequency) has been determined by the mathematical formula: $\text{area of the lesion (cm}^2\text{)} \times \text{score of intensity} \times \text{constant}$ (useful to correct possible inaccuracies related to the definition of the lesion margins);
- 2) “kernel density estimation” (Anderson, 2009), applied on the shapefile containing lesions converted as points. The kernel bandwidth (search radius) used was 9.7 cm. The radius specifies the distance around a point at which an influence of the point will be felt.

Based on the band value of the kernel density, core areas that included the highest number of injuries were defined; these areas were then used to calculate: 1) the area of injuries; 2) the number of injuries intersecting the core area; and 3) the average weighted intensity inside and outside the core area by “Wilcoxon-Mann-Whitney test” (R Core Team, 2013).

Results

The pigs under investigation had been previously used in three different feeding trials (Zanfi *et al.*, 2014; Capraro *et al.*, 2014; G. Galassi *et al.*, unpublished data) and were fed diets containing fibrous feeds (whole-ear corn silage and corn silage, from 15 to 40% of dry matter) or traditional corn-soya meal based diets during the last fattening period (from 80 to 160-170 kg body weight (BW)). Animals were slaughtered (Table 1) at the typical weight adopted in Italy for the production of cured ham “prosciutto” (160-170 kg BW): the stomach represented about 0.40% of the slaughter BW and the amounts of gastric contents were highly variable due to different diets fed to animals and the different periods of fasting pre-slaughtering.

The examination of individual stomachs revealed a total of 623 lesions (Table 1 and Figure 1A), which were mainly classified as hyperplastic or follicular (97%), while atrophic and simple gastritis represented a marginal part of the total. There were also differences in the degree of severity of gastric mucosa damage with the hyperplastic and follicular lesions showing ample range of variation of the lesion scores with average score values higher than those ascribed to the other gastritis types.

The core areas were defined only in gastritis with a high number of injuries: referring to hyperplastic and follicular they intercepted 98.5% (400/406) and 95.5% (190/199) of the lesions, respectively.

Kernel density and core area analysis showed that hyperplastic gastritis (Figure 1B) was primarily found within a single oval shaped area located in the fundus region near the *Curvatura ventriculi major*. Some minor parts of this area also extended into the cardiac and the pyloric regions. Hyperplastic gastritis had an average area of 77.8 cm² (6.8% of the average area of the examined stomachs). The core area (that occupied 44% of the average area of the examined stomachs) included 61.9% of the area covered by the injuries.

Follicular gastritis (Figure 1C) was concentrated in the pyloric mucosa, primarily on the edge of the fundus area. Kernel maps showed two distinct, small areas of high relative frequency in a symmetrical position with respect to a mid-sagittal plane of the organ. Compared to the hyperplastic lesions, the average area of follicular injuries was smaller (40.3cm², 3.5% of the average area of the examined stomachs), but they were more concentrated considering that the core area (that was 32.2% of the average area of the examined stomachs) included 64.1% of areas covered by the injuries.

Finally, the statistical analysis carried out with the “Wilcoxon-Mann-Whitney test” showed that the hyperplastic gastritis was more intense when affected the inside of core area compared to the external area (1.70 vs 1.51; P<0,001).

Discussion

The aim of present work was to describe the localization and distribution of different gastric mucosal damages without investigating the etiology and relationships between different types of gastric lesions. The GIS analysis allowed us to produce detailed maps of the internal stomach surface, which highlighted the differences in distribution and concentration of the lesions in most cases of gastritis found. The hyperplastic type of gastritis resulted to be widespread over the surface of the stomach, with large lesions mainly localized in the fundus and cardiac areas, while the follicular type was less widespread and restricted to the pyloric mucosa.

The analysis showed a clear clustering of the gastritis distribution over the stomach mucosa especially for the hyperplastic gastritis.

The localization of the different lesions is probably due to mechanical stress exerted by the feed mass and the distribution of the different glandular types, as well to other factors not yet investigated.

Conclusion

The use of a GIS system for lesions mapping introduced an innovative approach, suitable to provide an improvement of potentiality in comparison with other databases that might be used for the collection of clinical data concerning gastritis lesions. The creation of density maps of the relative frequency of gastritis lesions can be useful in helping to form an insight about the possible relationship among types of gastritis, their severity, position and etiology.

The result could be potentially transferable in human medicine, where the pig is widely used as animal model. Moreover, the information given by present results may allow targeted sampling of stomach tissue for large-scale inspections in the abattoirs to detect gastric mucosal damages as indicators of pre slaughter animal welfare.

References

- Anderson TK. Kernel density estimation and K-means clustering to profile road accident hotspots. *Accid Anal Prev* 2009;41:359-364.
- Capraro D, Zanfi C, Bassi M, *et al.* Effect of physical form of whole ear corn silage (coarse vs wet milled) included at high dietary levels (30 vs 40% dry matter) on performance of heavy finishing pigs. *Anim Feed Sci Technol* 2014;198:271-278.
- Daraban C, Murino C, Marzatico G, *et al.* Using geographical information system for spatial evaluation of canine extruded disc herniation. *Geospat Health* 2014;9:213-220.
- Dixon MF, Genta RM, Yardley JH, Correa P. Classification and grading of gastritis. The updated Sydney system. International Workshop on the Histopathology of Gastritis, Houston 1994. *Am J Surg Pathol* 1996;20:1161-1181.
- Hebel RMD. The topography of chronic gastritis in otherwise normal stomachs. *Am J Pathol* 1949;25:125-141.
- Imanieh MH, Goli A, Imanieh MH, Geramizadeh B. Spatial Modeling of Colonic Lesions With Geographic Information Systems. *Iran Red Crescent Med J* 2015;17:e18129

- Malfertheiner P, Ditschuneit H. *Helicobacter pylori*, Gastritis and Peptic Ulcer. Springer-Verlag Berlin Heidelberg; 2011.
- Mason F, Pascotto E, Zanfi C, Spanghero M. Effect of dietary inclusion of whole ear corn silage on stomach development and gastric mucosa integrity of heavy pigs at slaughter. *Vet J* 2013;198:717-719.
- Marcato PS. Sistema gastroenterico e peritoneo. In Marcato PS, *Patologia sistematica veterinaria*. Bologna, Edagricole; 2002. pp 611-743.
- Pascotto E, Tome P, Comazzi S, *et al.* Use of an open-source Geographic Information System-based method for topographic analysis of nodular cutaneous lesions in dogs. *Vet Dermatol* 2014;25:55-60.
- R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria; 2015.
- Rugge M, Genta RM. Staging and grading of chronic gastritis. *Hum Pathol* 2005;36:228-33.
- Zanfi C., Colombini S, Mason F, *et al.* Digestibility and metabolic utilization of diets containing whole ear corn silage and their effects on growth and slaughter traits of heavy pigs. *J Anim Sci* 2014;92:211-219.

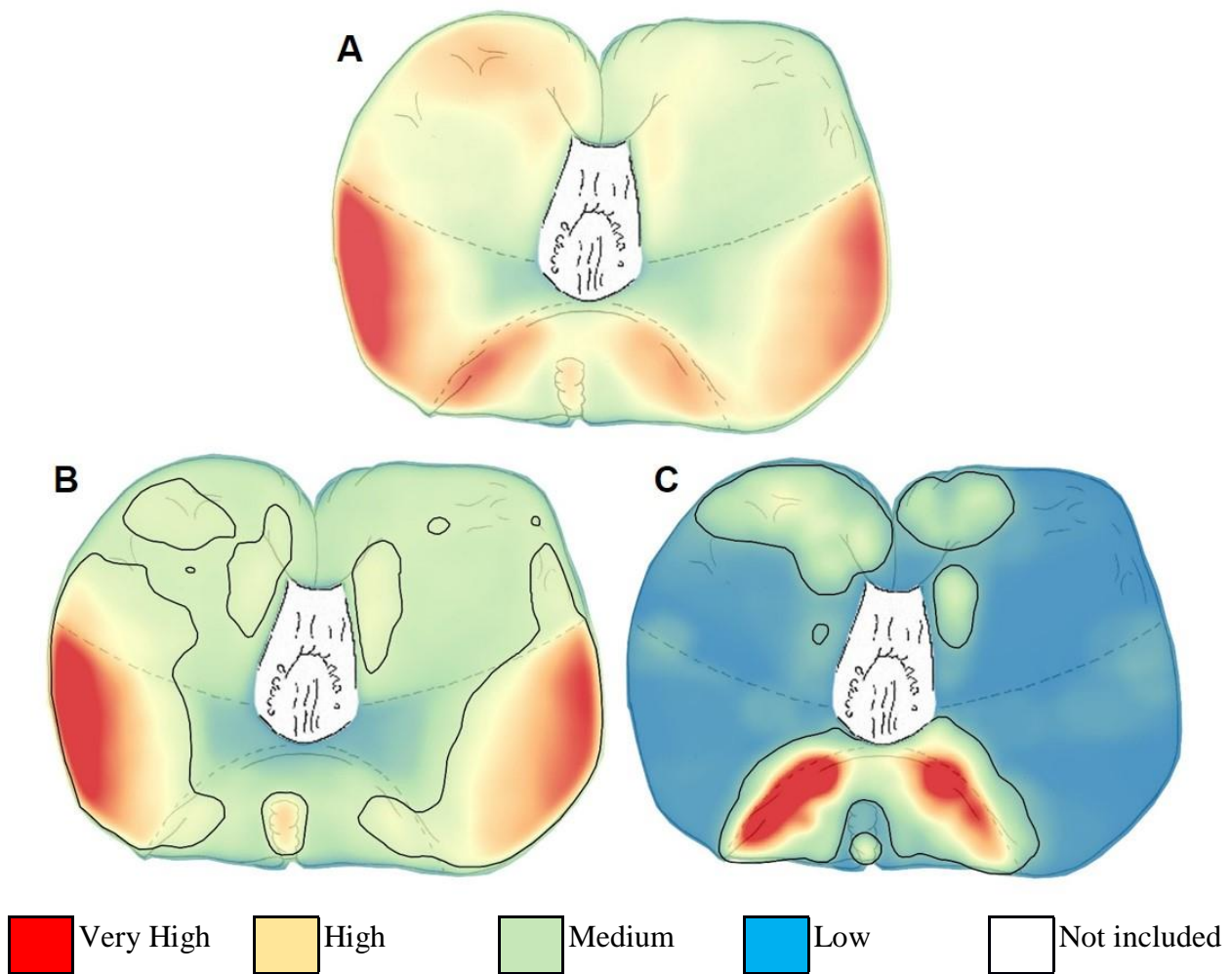
Table 1. Pig slaughter body weight, stomach and gastritis characteristics.

Variable	Mean	SD*	Min.	Max.
Pig body weight at slaughter (kg)	168.0	10.5	130.5	195.5
Stomach weight (g)	674.3	78.3	527.3	889.0
Stomach weight (% of body weight)	0.40	0.04	0.30	0.52
Stomach content				
weight (g)	1052	743	82	3929
dry matter (%)	21.9	4.7	8.4	41.3
Gastritis type (number per pig)				
Hyperplastic	2.79	1.79	0.0	9.0
Follicular	1.37	1.31	0.0	7.0
Atrophic	0.07	0.38	0.0	2.0
Simple	0.05	0.34	0.0	2.0
Gastritis lesion score^o				
Hyperplastic	1.5	0.7	1.0	5.0
Follicular	1.6	0.8	1.0	4.0
Atrophic	1.0	0.0	1.0	1.0
Simple	1.3	0.5	1.0	2.0
Gastritis area (cm²)				
Hyperplastic	77.8	95.3	3.1	1135.6
Follicular	40.3	55.7	1.8	531.3

*standard deviation

^ovarying from 1 (mild lesion) to 5 (severe gastritis)

Figure 1. Density maps of gastritis in pigs.



A) Density map of the relative frequency of total gastritis identified (n= 623). B) Density map of the relative frequency and core areas of the hyperplastic gastritis (n=406). C) Density map of the relative frequency and core areas of the follicular gastritis (n=199).

Capitolo 6. Commenti e conclusioni

- **Granulometria delle diete:** l'aspetto innovativo delle diete sperimentali testate nelle prove della presente tesi è stato l'utilizzo, seppur a dosaggi limitati, di ingredienti con una granulometria atipica rispetto a quella usata nelle moderne diete per suini all'ingrasso. Nei mangimi per suini si adottano macinazioni piuttosto spinte per ottenere miscele con granulometria comprese tra 0,600 e 0,900 mm, mentre per i pastoni di spiga, che sono stati usati fino al 40% della sostanza secca, abbiamo stimato dimensioni medie delle particelle di 3,5-4,4 mm e per il silomais, incluso in misura del 20%, si raggiungevano valori di 7-8 mm. La controindicazione nutrizionale più immediata a questi utilizzi è rappresentata da un riduzione della digeribilità. Per quanto riguarda il pastone di spiga la granulometria appare ben tollerata dal suino pesante a conferma di risultati simili ottenuti in precedenti prove condotte dal gruppo di Udine (Zanfi e Spanghero, 2012; Zanfi *et al.*, 2014). Nella prova condotta nell'ambito di questa tesi e riguardante il pastone di spiga si è anche voluto valutare se una macinazione umida del prodotto potesse essere efficace per aumentare la digeribilità e consentire quindi di elevare i livelli di inclusione. La macinazione è stata realizzata con un molino aziendale sul prodotto appena desilato per simulare una procedura trasferibile a livello di allevamento. Il risultato complessivo ha dimostrato l'assenza di effetti migliorativi su digeribilità e performance a seguito della macinazione. La spiegazione di questo inatteso risultato potrebbe essere attribuito, oltre a una efficiente attività masticatoria del suino pesante dei prodotti grossolani, ad una capacità di adattare parte del suo apparato digerente (stomaco e ultimo tratto intestinale) alla somministrazione dei materiali in forma grossolana con (i) un aumento dello sviluppo dello stomaco, (ii) una prolungata ritenzione gastrica dei materiali grossolani e non macinati e, successivamente, (iii) una efficiente fermentazione negli ultimi tratti del digerente. In conclusione il suino si dimostra capace di adeguarsi, entro certi limiti, alla variazione di granulometria con adattamenti del digerente efficaci per mantenere elevata la digeribilità recuperando, probabilmente, un habitus alimentare innato ed ancestrale.

Tuttavia questa capacità di adattamento non è stata sufficiente nel caso di un alimento come il silomais, che presenta una granulometria e un contenuto di fibra molto elevati (pressoché doppi rispetto al pastone) e comprende parti, come lo stocco, con funzione strutturale nella pianta e quindi con componenti fibrose molto lignificate e indigeribili (Masoero *et al.*, 2011). La sua inclusione nelle diete ha infatti peggiorato la digeribilità delle diete e l'accrescimento degli animali (-5 e -10%, rispettivamente).

- Prestazioni produttive e valutazioni economiche: gli allevamenti di suini all'ingrasso hanno registrato negli ultimi anni un peggioramento della redditività per l'aumento dei costi di produzione e una stagnazione dei prezzi di vendita (de Roest *et al.*, 2013). Poiché l'alimentazione rappresenta il 60% circa dei totali costi di produzione del suino pesante (Montanari, *et al.*, 2015), l'impiego di materie prime economiche appare una strategia indispensabile per scongiurare il peggioramento ulteriore della bilancio economico della attività.

I due insilati di mais testati nella presente tesi sono largamente diffusi nelle aree a forte vocazione suinicola della pianura padana, sono ammessi dai disciplinari di produzione DOP Parma-San Daniele e assicurano un controllo in termini di tracciabilità della alimentazione in quanto sono prodotti e utilizzati entro azienda. In termini economici, presentano costi per unità di sostanza secca molto inferiori rispetto alla granella secca poiché, a parità di costi agronomici, le produttività unitarie sono superiori ed i costi per l'insilamento (strutture, perdite, materiali per l'insilamento, etc.) sono generalmente inferiori rispetto ai costi di essiccazione della granella, specialmente se questa è realizzata fuori dall'azienda (Borreani *et al.*, 2009). Naturalmente, la maggior fibrosità e la forma fisica grossolana possono compromettere, come in parte risultato dalla presente tesi, le performance degli animali.

Si è ritenuto importante sviluppare un breve approfondimento sugli effetti economici derivanti dalla inclusione dei due insilati nelle diete per suini in fase finale di ingrasso, utilizzando come esempio di diete quelle testate nelle nostre prove. In particolare, la comparazione ha riguardato la tesi di controllo impiegata nella prova 2 della presente tesi, la dieta contenente il 40% di pastone (prova 1) e quella contenente il 20% di silomais (prova 2, Tabella 7).

Per le simulazioni economiche è stato utilizzato l'algoritmo statistico "Monte Carlo test" (Eriksson, 2014) con calcoli eseguiti in Excel[®]. Si tratta di un software che consente di applicare modelli previsionali di tipo "stocastico" e che pertanto, a differenza di un approccio "meccanicistico", non forniscono un unico risultato, ma utilizzando valori di variabilità dei fattori del modello producono set di possibili soluzioni (St-Pierre *et al.*, 2015). Nel nostro caso concreto il costo della dieta o la redditività economica sono stati calcolati a partire da prezzi di mercato degli ingredienti alimentari e dei suini da macello per i quali abbiamo inserito una stima delle variabilità e il programma ha prodotto, per iterazioni successive, una serie di soluzioni al variare casuale dei singoli fattori all'interno di un range definito di variabilità.

Tabella 7. Composizione riassuntiva delle diete impiegate nelle prova 1 (Pastone 40%) e nella prova 2 (Controllo e Silomais 20%) della presente tesi, e successivamente utilizzate per la valutazione economica.

	Diete		
	Controllo	Pastone 40%	Silomais 20%
Alimenti utilizzati g/kg ss			
Farina di mais	55	15	43
Farina di orzo	25	23	25
Soia F.E	9	9	9
Farina di frumento	0	10	0
Crusca di frumento	8	0	0
Pastone integrale di mais	0	40	0
Insilato di mais	0	0	20
Integratore	3	3	3

Per mais granella, soia, frumento, orzo, crusca e silomais sono stati presi in considerazione i prezzi medi mensili dal 2009 ad oggi (Tabella 8, www.teseo.clal.it) ed è stato calcolato un valore medio, ma anche una stima della loro variabilità.

Tabella 8. Prezzo medio degli alimenti utilizzati per la simulazione, prezzo riferito al prodotto tal quale, e dei suini pesanti da macello. I dati sono riferiti al periodo 2009-2015 per gli alimenti e ottobre 2014 - novembre 2015 per i suini pesanti (Fonte: www.clal.it; www.ismea.it).

	Prezzo medio	DS	Min	Max
Alimento €/t				
Soia F.E.	395,1	64,4	304,0	562,0
Frumento	227,0	39,7	142,0	332,5
Orzo	207,3	42,2	135,0	283,0
Crusca	136,6	33,9	71,0	225,0
Mais granella, 14% um	221,7	49,4	127,0	277,0
Insilato di mais, 30% ss	38,7	3,9	31,0	47,0
Suini pesanti, €/kg	1,4	0,1	1,3	1,5

Le oscillazioni dei prezzi dei principali ingredienti sono dell'ordine del 15-20% ad esclusione della crusca per la quale la variabilità è risultata più elevata (25%). La quotazione del pastone

integrale non è risultata disponibile e pertanto sulla base di valutazioni di raffronto tra costo di produzione del pastone e la granella secca (Borreani *et al.*, 2009) è stato attribuito un costo pari ai due terzi della granella di mais.

I risultati di una prima elaborazione relativa al costo delle diete sono rappresentati in figura 7.

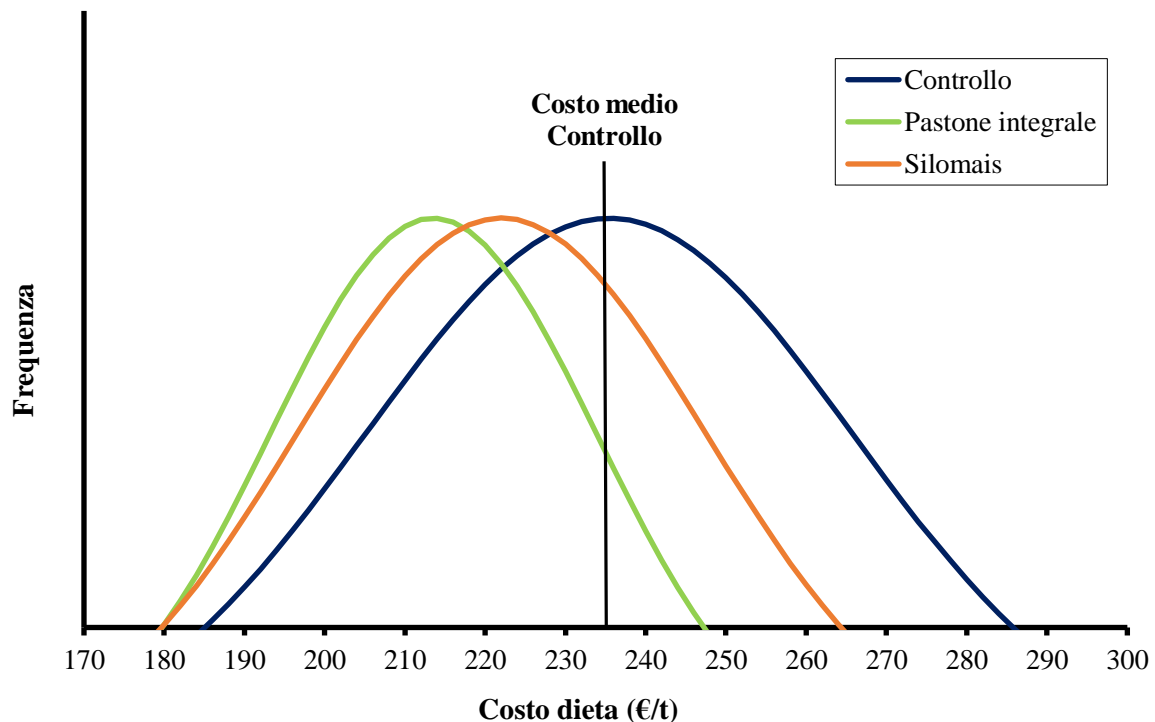


Figura 7. Distribuzione dei costi (€/t) delle diete di controllo, contenente pastone integrale di spiga di mais al 40% e silomais al 20%.

Va premesso che per entrambe le simulazioni di dieta a base di insilati (pastone o silomais) è stata rimossa dalla dieta la crusca, che è l'ingrediente a prezzo di mercato più basso. La dieta a base di pastone (40% della ss) presenta un range di variazione compreso tra 193 e 234 €/t con media di 214 €/t, mentre i rispettivi valori per la dieta di controllo sono risultati del 9% più elevati (range di prezzo che varia tra i 205 e 266 €/t con una media di 235 €/t). Per la dieta a base di silomais (20% della ss) il costo medio stimato è risultato inferiore di solo il 6% rispetto a quello di controllo (range di 197-248 €/t e media di 222 €/t).

Da un punto di vista probabilistico prendendo come riferimento la media di costo della dieta controllo (che ha il 50% di probabilità di essere superata) nelle diete a base di pastone si ha un probabilità di superare questo valore solamente del 15% che sale al 31% nel caso della dieta a base di silomais.

Complessivamente quindi i due insilati consentono una discreta riduzione di costo, ma inferiore rispetto a quanto il differenziale di prezzo tra insilati e farina di mais farebbe calcolare poiché nelle nostre simulazioni l'impiego degli insilati fibrosi va a sostituire, oltre a parte della farina di mais, anche tutta la crusca che ha generalmente un prezzo più basso del mais.

Si è quindi proceduto al calcolo dell'“income over feedcosts” (IOFC, ricavi al netto dei costi alimentari, in euro/kg di incremento di peso vivo), parametro che permette di dare un giudizio economico in termini di redditività e che si ottiene calcolando il ricavo giornaliero per suino (accrescimento per prezzo di vendita al macello) da cui è sottratto il costo medio della razione giornaliera. L'analisi è stata eseguita considerando gli accrescimenti ottenuti nelle diverse prove ed è stato preso in considerazione un prezzo del suino da macello pari a 1,36 €/kg (prezzo medio mensile riferito a ottobre 2014 - novembre 2015, www.ismea.it).

I risultati delle analisi, illustrati nella figura 8, evincono che la dieta controllo consente di realizzare un valore di IOFC di 0,46 € capo/d, mentre con l'inclusione del pastone, che permette il mantenimento delle performance ed una maggiore economicità della dieta, vi è un aumento del margine per l'allevatore quantificabile in + 0,06 € capo/d. Viceversa il risultato economico per la dieta contenente il silomais risente della sua più bassa inclusione (maggiore presenza di farina di mais) e, come detto precedentemente, del peggioramento della performance di crescita e di conseguenza l'IOFC con questa dieta si abbassa sotto il valore della dieta di controllo, con una perdita di valore pari a - 0,06€ capo/d.

In termini di probabilità, nel 83% delle combinazioni con pastone si realizza un valore di IOFC superiore a quello medio della dieta a pastone, mentre la stessa situazione si realizza solo per una frazione molto modesta delle combinazioni con silomais (26% dei casi).

Pertanto, nel contesto dei prezzi considerati ed adottando le performance di crescita registrate nelle prove, si è dimostrata una discreta convenienza economica all'uso del pastone di spiga ad alti dosaggi, mentre la riduzione di crescita indotta dalla inclusione del silomais è penalizzante nonostante il contenimento dei costi di alimentazione.

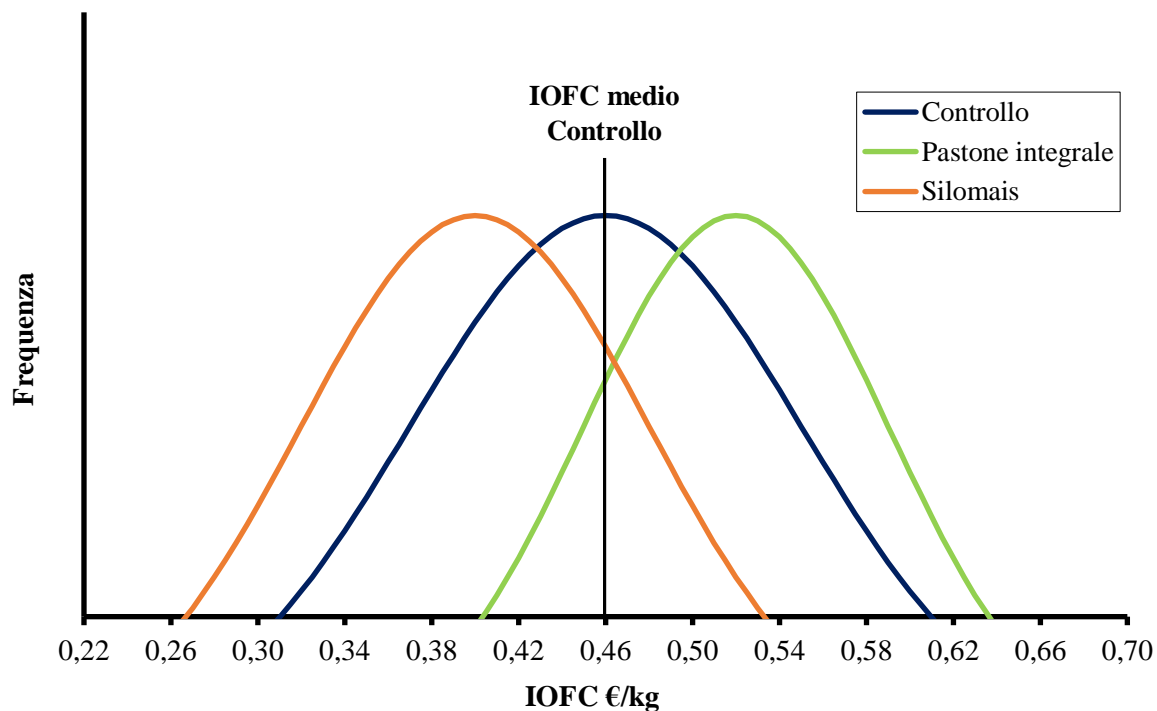


Figura 8. Confronto del IOFC (€/kg) tra le diete controllo, pastone integrale di spiga di mais al 40% e silomais al 20%.

L'impiego del silomais potrebbe essere considerato in ragione del suo esclusivo effetto dietetico (effetto riempitivo, di protezione gastrica e di stimolo alle fermentazioni intestinali), a dosaggi più bassi di quelli adottati nella presente sperimentazione, per non peggiorare le performance, e simili a quelli a cui viene generalmente aggiunta la crusca nelle diete dei suini pesanti (8-12%). La sua origine aziendale e il suo basso costo potrebbero essere i punti di forza per sostenerne l'impiego in alternativa alla crusca, anche se le ridotte inclusioni nelle diete impongono un adeguamento delle dimensioni dei silos a trincea negli allevamenti di non grandissime dimensioni per mantenere un adeguato fronte di desilamento giornaliero. In alternativa ai silos sono attualmente disponibili tecniche di insilamento in rotoballe di elevate dimensioni (di circa una decina di quintali ognuna) che sono applicate da ditte ed aziende per la commercializzazione di insilati nelle aree di montagna. Si tratta di una soluzione più costosa rispetto all'insilamento tradizionale aziendale in silos orizzontali (circa 20 euro/rotoballa, Repetti, 2013), ma forse obbligata nel caso di consumi giornalieri limitati (corrispondenti ad esempio alle necessità di allevamenti con qualche centinaio di suini in fase finale di ingrasso).

- Insilati di mais e qualità delle cosce fresche: gli effetti della inclusione di insilati sulla qualità delle cosce fresche è stata valutata utilizzando i dati di suini di due prove differenti, la prima è descritta in Zanfi *et al.* (2014), mentre la seconda corrisponde alla prova presente nella tesi riguardante l'inclusione dell'insilato di mais. In entrambe le prove le diete di controllo e le procedure sperimentali (genetica animali, pesi vivi, etc.) erano identiche e l'elaborazione complessiva delle due prove ha consentito di aumentare in maniera rilevante la numerosità dei dati sperimentali.

L'utilizzo di insilati di mais nelle diete, come descritto precedentemente, non ha portato a significative differenze tra pesi e rese di macellazione, se non a un moderato calo del peso della carcassa nella dieta con insilato di mais. È importante sottolineare che il valore della coscia adatta alle produzioni DOP incide per circa il 40% del valore totale della carcassa (Russo, 1998) e la rispondenza ai requisiti previsti dal disciplinare di produzione Parma-San Daniele DOP è essenziale per garantire una adeguata remunerazione complessiva all'allevatore.

Secondo le indicazioni del disciplinare per ottenere un prosciutto crudo di pregio, la coscia deve appartenere ad un suino compreso nelle categorie U, R, O della classificazione EUROP per i suini pesanti ed avere un peso superiore agli 11 kg (Rossi, 2014)

La qualità tecnologica della coscia tuttavia, oltre essere legata allo stato di conformazione dell'animale, risulta anche molto dipendente dalla qualità e spessore del grasso di copertura. Secondo il disciplinare la copertura adiposa deve essere di almeno 15 mm (cotenna compresa) ed avere un valore del numero di iodio inferiore a 70. Quest'ultimo indica il grado di insaturazione del grasso ed è correlato principalmente al livello di acido linoleico (C18:2 n-6) (Toscani *et al.*, 2003) il cui limite imposto per il grasso delle cosce fresche è del 15%. È molto importante infatti evitare l'eccessiva presenza di acidi grassi mono o polinsaturi (MUFA e PUFA) nel grasso di copertura, che possono determinarne fenomeni di ossidazione (irrancidimento), portando ad una alterazione del colore e del sapore del prosciutto. Inoltre MUFA e PUFA determinano una variazione della texture del prodotto con una riduzione della compattezza e della coesione del grasso (Piasentier *et al.*, 2009a). Per questo motivo è necessario che il grasso di copertura contenga un elevato quantitativo di acidi grassi saturi (SFA) che garantiscano protezione durante la stagionatura.

Le carcasse ottenute dai suini impiegati nelle prove di alimentazione della tesi si sono collocate principalmente nella classe R e l'utilizzo di diete contenenti gli insilati di mais hanno consentito di ottenere cosce di peso adeguato, con valore medio 17,2 kg a caldo e con un peso medio di arrivo in prosciuttificio di 14,6 kg, rientrando a pieno titolo nei requisiti del consorzio.

I controlli effettuati durante le fasi di stagionatura hanno evidenziato inoltre cali costanti e confrontabili alle diete di controllo, infatti i cali di stagionatura si sono attestati a 30,6 per controllo e 31,7 % per gli insilati. Il peso finale delle cosce è risultato quindi compreso tra 10,0 e 10,5 kg, ricadendo nel range descritto dal disciplinare DOP, che indica come il peso ottimale del prosciutto a fine stagionatura sia tra gli otto e i dieci chilogrammi, e comunque mai sotto i 7,5 kg. La ripartizione della composizione acidica del grasso di deposito dei suini presenta una classica proporzione 40:45:15 tra componenti di SFA, MUFA e PUFA (Lo Fiego *et al.*, 2005; Piasentier *et al.*, 2009b). Un risultato sperimentale di rilievo che emerge dal presente lavoro è il significativo aumento della frazione di acidi grassi saturi, ascrivibile principalmente all'aumento dell'acido stearico (C18:0), ed una tendenza alla riduzione dell'acido oleico (C18:1 n-9) nel lardo dorsale dei suini alimentati con insilati. Queste modifiche di composizione sono probabilmente trasferibili al grasso di copertura delle cosce e quindi questo può rappresentare un miglioramento della qualità tecnologica in prosciuttificio.

Il risultato potrebbe essere in parte attribuito ad un aumento delle fermentazioni intestinali dovute alla fibrosità e alla forma fisica grossolana degli insilati e ad una elevata produzione intestinale di acidi grassi volatili che verrebbero assorbiti e quindi utilizzati per le sintesi lipidiche del suino. Purtroppo, questa ipotesi interpretativa non è al momento avvalorata da evidenze sperimentali, ma è indirettamente e parzialmente supportata dagli elevati assorbimenti di acidi grassi volatili rilevati da Ingerslev *et al.* (2014) con diete che inducevano un aumento considerevole della fermentazione intestinale.

- Insilati di mais e implicazioni sulla escrezione di N e P: Va premesso che la via prevalente di escrezione del fosforo è quella fecale, mentre per l'azoto è quella urinaria.

Il risultato che emerge dalla prova metabolica nella quale è stato testato il silomais è una riduzione della escrezione fecale di fosforo a seguito della somministrazione dell'insilato (7,95 a 5,69 g/d). Questo risultato conferma la analoga riduzione che si era riscontrata in una prima prova nella quale veniva utilizzato come insilato di mais il pastone di spiga (Zanfi *et al.*, 2014). Queste evidenze sperimentali sono in linea con rilievi molto recenti ottenuti da Humer *et al.* (2014) e Kraler *et al.* (2014) che dimostrano un effetto di aumento della disponibilità del fosforo nei cereali sottoposti a fermentazione. L'ipotesi è che la acidità della massa insilata stimoli l'attivazione delle fitasi endogene e che vi sia anche una produzione di fitasi batteriche: complessivamente si realizza una favorevole disgregazione dell'acido fitico con una conseguente maggior disponibilità del fosforo.

Per quanto attiene all'azoto i nostri risultati di escrezione sono opposti a quelli ottenuti per il fosforo: in questo caso si riscontra un aumento della escrezione fecale a parità di azoto trattenuto dagli animali. Il fenomeno va ricondotto ad un aumento della quota di azoto metabolico fecale che potrebbe derivare da un maggior richiamo di azoto a livello intestinale per la maggior crescita microbica intestinale o ad un più intenso effetto di desquamazione intestinale determinato dalla massa fibrosa in transito. Indipendentemente dal meccanismo, l'aumento della quota fecale escreta va a scapito di quella urinaria e questa partizione è favorevole da un punto di vista di impatto ambientale in quanto la frazione fecale è meno volatile di quella urinaria.

Complessivamente, quindi l'impiego di insilati di mais può essere considerarsi positivo ai fini della attenuazione delle due più importanti escrezioni di inquinanti ambientali.

- **Insilati di mais e sazietà degli animali:** Gli insilati utilizzati nelle prove, per le descritte caratteristiche di fibrosità e grossolanità, possono essere efficaci per mitigare alcune situazioni di alterato benessere dei suini pesanti. Infatti, anche se non sono stati eseguiti dei rilievi comportamentali diretti sugli animali, è possibile trarre alcune considerazioni sulla base dello sviluppo e del contenuto degli stomaci e delle analisi delle mucose gastriche. L'impiego degli insilati ha determinato un maggior sviluppo degli stomaci e una maggiore ritenzione dei materiali più grossolani (Figura 9) e questo può essere una prova indiretta di una condizione di maggior sazietà degli animali.

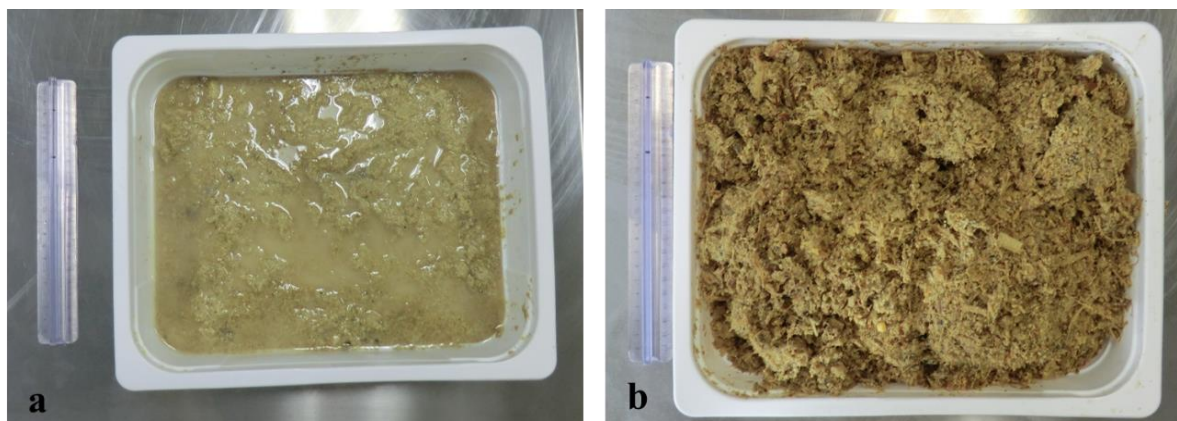


Figura 9. Contenuto gastrico di suini alimentati con diete tradizionali (di controllo, a) o contenenti silomais (b).

E' plausibile pensare infatti che l'effetto riempitivo determinato dall'insilato possa influenzare positivamente il benessere dell'animale in quanto è noto (Paintal, 1954; Rolls *et al.*, 1997) che la distensione dello stomaco e la stimolazione meccanica di recettori specifici, dati dall'ingombro della massa dell'alimento fibroso e grossolano, favoriscono il senso di sazietà. In entrambe le prove non sono stati rilevati fenomeni di cheratinizzazione o ulcere negli stomaci, ma è stato osservato che l'inclusione di alimenti grossolani influisce sulla comparsa delle gastriti. Infatti nella dieta con silomais, le gastriti iperplastiche sono risultate più numerose rispetto al controllo, viceversa le gastriti follicolari sono state riscontrate in un numero inferiore. Queste differenti manifestazioni non sono di semplice interpretazione, tuttavia secondo Ruge *et al.* (2011) tutti gli stadi di infiammazione della mucosa possono essere associate a fenomeni rigenerativi, condizioni che si riscontrano nei punti con erosione o ulcere. Come detto, non sono state riscontrate ulcere, però per quanto riguarda la gastrite iperplastica, è possibile ipotizzare un effetto meccanico di strofinamento sulle pareti della mucosa, dovuto alla massa grossolana di alimento, che ha determinato un elevato turnover cellulare ed un inspessimento della mucosa. Per quanto riguarda le gastriti follicolari il loro calo con l'inclusione di alimenti grossolani concorda con quanto è stato evidenziato in precedenti ricerche del gruppo nel quale ho lavorato (Mason *et al.*, 2013). Dalla letteratura queste gastriti risultano molto dipendenti da fenomeni infettivi causati dall'*Helicobacter pylori*, ma i controlli da noi effettuati, sia colorimetrici (Giemsa) che microscopici, non hanno consentito la individuazione di questo agente eziologico. Pertanto, si ritiene che la bassa presenza delle gastriti follicolari sia imputabile ad un effetto di protezione gastrica esercitata dalla fibra e dalle particelle grossolane degli insilati. Sempre con riferimento alle lesioni gastriche, il contributo sperimentale relativo alla distribuzione delle gastriti nelle diverse aree dello stomaco ha dimostrato una localizzazione in aree circoscritte di alcuni tipi specifici di gastriti. Il risultato ha una potenziale trasferibilità nel campo della medicina umana dove il suino è un animale modello molto utilizzato: la disponibilità di informazione sulla localizzazione potrebbe essere utile per un miglioramento delle tecniche endoscopiche per la individuazione delle lesioni gastriche nell'uomo. Al di là di questo aspetto, che esula completamente da questa tesi, il risultato è di un certo interesse anche in campo zootecnico in quanto si prefigura la possibilità di fornire informazioni utili per ipotizzare campionamenti mirati di tessuto gastrico in indagini su larga scala a livello di macello finalizzate a rilevare danneggiamenti della mucosa dovuti a fattori stressori alimentari e non.

Complessivamente, i risultati della presente tesi consentono di esprimere una valutazione positiva sulla prospettiva di modificare in parte i programmi di alimentazione del suino pesante con l'inclusione di insilati di mais: gli elementi che possono supportare questa scelta alimentare derivano dal mantenimento delle performance (pastoni di spiga in particolare), dalla assenza di controindicazioni per quanto attiene la qualità delle cosce (anzi vengono ipotizzati miglioramenti della qualità del grasso) e da positivi effetti sul fronte della riduzione delle escrezioni. Oltre a questi aspetti i nostri risultati suggeriscono una maggior protezione contro i danneggiamenti delle mucose gastriche e un maggior grado di replezione degli stomaci, che è da considerarsi positivo per attenuare lo stress dovuto alla restrizione alimentare a cui sono sottoposti questi animali nella fase finale di ingrasso. In conclusione, si ritiene che i risultati ottenuti nella presente tesi potranno essere utili per predisporre programmi alimentari più rispettosi del benessere animale.

Bibliografia

- Ball, M.E.E., Magowan, E., McCracken, K.J., Beattie, V.E., Bradford, R., Thompson, A., Gordon, F.J., 2015. An investigation into the effect of dietary particle size and pelleting of diets for finishing pigs. *Livestock Science* 173, 48-54.
- Barbera, S., Tassone, S., Torchio, M., Casella, P., Valle, D., Bono, M., Fiorito, E., Botta, M., Orlando, I., Cravero, M., Anesa, E., Raviolo, V., Botta, M., Cannizzo, F.T., Biolatti, B., 2014. Indagine sullo stato di benessere e sanità del suino piemontese dall'allevamento al macello. *Large Animals Review*, 3, 105-111.
- Bertacchini, F., Campani, I., 2001, *Manuale di allevamento suino*. Edagricole, Bologna, pp 434.
- Borreani, G., Tabacco, E., Bondi, A., Colombari, G., 2009. Come gestire il pastone di spiga in allevamento. *L'informatore agrario* n.24, 31-34.
- Bosi, P., Russo, V., 2004. The production of the heavy pig for high quality processed products. *Italian Journal of Animal Science* 3, 309-321.
- Bovolenta, S., Del Zan, F., Menegon, S., 2010. L'uomo domini sul bestiame... dalla pastorizia alla zootecnia. *Ersa, Gorizia*, pp 496.
- Cappai, M.G., Wolf, P., Rust, P., Pinna, W. and Kamphues, J., 2013a. Raw hulled shredded acorns from Downy Oak (*Quercus pubescens*) in the diet of pigs: effects on digestibility and faeces characteristics. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* 97, 1-5.
- Cappai, M. G., Picciau, M., Pinna, W., 2013b. Ulcerogenic risk assessment of diets for pigs in relation to gastric lesion prevalence. *BMC Veterinary Research* 9-36.
- Comellini, M., Bochicchio, D., Della Casa, G., 2012. Produzione di ghianda in allevamenti biologici di suini. *SISTEMI AGRO-ZOOTECNICI BIOLOGICI ED ECO-COMPATIBILI IN AMBIENTE MONTANO*. Quaderno SOZOOALP n° 7, 107-113.
- De Angelis, M., Gallo, G., Corbo, M.R., McSweeney, P.L.H., Faccia, M., Giovine, M., Gobbetti, M., 2003. Phytase activity in sourdough lactic acid bacteria: purification and characterization of a phytase from *Lactobacillus sanfranciscensis* CB1. *International Journal of Food Microbiology* 87, 259-270.
- de Roest, K., Molinari, C., Corradini, E., 2013. Suinicoltura italiana e costi di produzione. *Opuscolo C.R.P.A. 2.71 N.1/2013*, 25-36.
- Di Martino, G., Capello, K., Scollo, A., Gottardo, F., Stefani, A. L., Rampin, F., Schiavon, E., Marangon, S., Bonfanti, L., 2013. Continuous straw provision reduces prevalence of oesophago-gastric ulcer in pigs slaughtered at 170 Kg (heavy pigs). *Research in Veterinary Science* 95, 1271-1273.

- Direttiva 91/676/CEE. Relativa alla protezione delle acque dall'inquinamento provocato dai nitrati provenienti da fonti agricole (Direttiva nitrati) GU Europea L 375 del 1991.
- Direttiva 118/2006/UE. Sulla protezione delle acque dall'inquinamento e il deterioramento. GU Europea, L372 del 2006.
- Direttiva 75/2010/UE. Industrial emissions (integrated pollution prevention and control). GU Europea L334/17 del 2010.
- Direttiva 80/2014/UE. Consiglio sulla protezione delle acque sotterranee dall'inquinamento e dal deterioramento. GU Europea, L 182/52 del 2014.
- Eikelenboom, G., Bolink, A.H., Sybesma, W. , 1991. Effects of feed withdrawal before delivery on pork quality and carcass yield. *Meat Science* 29, 25-30.
- Eisemann, J. H., Argenzio, R. A., 1999. Effects of diets differing in propensity to promote gastric lesions on defense systems in gastric mucosae. *Journal of Animal Science* 77, 2715-2720.
- Eriksson, T., 2014. Simple Excel VBA application for Monte Carlo simulation with ad hoc made spreadsheet models. Published in Proceedings of the 5th Nordic Feed Science Conference. Uppsala: Department of Animal Nutrition and Management, Swedish University of Agricultural Sciences, pp 138-142
- Galassi, G., Crovetto, G. M., Rapetti L., 2005. Trend of energy and nitrogen utilization of high fibre diets in pigs from 100 to 160 kg bodyweight. *Italian Journal of Animal Science* 4, 149-157.
- Galassi, G., Malagutti, L., Crovetto, G.M., 2007. Growth and slaughter performance, nitrogen balance and ammonia emission from slurry in pigs fed high fibre diets. *Italian Journal of Animal Science* 6, 227-239.
- Gallo, L., Dalla Montà, G., Carraro, L., Cecchinato, A., Carnier, P., Schiavon, S., 2014. Growth performance of heavy pigs fed restrictively diets with decreasing crude protein and indispensable amino acids content. *Livestock Science* 161, 130-138.
- Humer, E., Wetscherek, W., Schwarz, C., Schedle, K., 2013. Effect of maize conservation technique and phytase supplementation on total tract apparent digestibility of phosphorus, calcium, ash, dry matter, organic matter and crude protein in growing pigs. *Animal Feed Science and Technology* 185, 70-77.
- Humer, E., Wetscherek, W., Schwarz, C., Schedle, K., 2014. Effects of maize conservation techniques on the apparent total tract nutrient and mineral digestibility and microbial

- metabolites in the faeces of growing pigs. *Animal Feed Science and Technology* 197, 176-184.
- Ingerslev, A.K., Theil, P.K., Hedemann, M.S., Lærke, H.N., Bach Knudsen, K.E., 2014. Resistant starch and arabinoxylan augment SCFA absorption, but affect postprandial glucose and insulin responses differently. *British Journal of Nutrition* 111, 1564–1576.
- INRA, 1989. L'alimentation des animaux monogastriques: porc, lapin, volailles. INRA, Paris, pp 284.
- Kraler, M., Schedle, K., Domig, K.J., Heine, D., Michlmayr, H., Kneifel, W., 2014. Effects of fermented and extruded wheat bran on total tract apparent digestibility of nutrients, minerals and energy in growing pigs. *Animal Feed Science and Technology* 197, 121-129.
- Lo Fiego, D.P., Santoro, P., Macchioni, P., De Leonibus, E., 2005. Influence of genetic type, live weight at slaughter and carcass fatness on fatty acid composition of subcutaneous adipose tissue of raw ham in the heavy pig. *Meat Science* 69, 107-114.
- Lopez, H.W., Ouvry, A., Bervas, E., Guy, C., Messenger, A., Demigne, C., Remesy, C., 2000. Strains of Lactic Acid Bacteria Isolated from Sour Doughs Degrade Phytic Acid and Improve Calcium and Magnesium Solubility from Whole Wheat Flour. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 48, 2281-2285.
- Makkar, H.P.S., Ankers, P., 2014. Towards sustainable animal diets: A survey-based study. *Anim. Feed Sci. Techn.*, 198, 309-322.
- Malossini, F., Loszach, S., 2014. Il calunniato e amato maiale l'allevamento in Italia dall'antichità ai giorni nostri. Pubblicato in *Atti Accademia Roveretana degli Agiati, Rovereto, Serie IX, Volume IV*, 85-150.
- Masoero, F., Gallo, A., Zanfi, C., Giuberti, G., Spanghero, M., 2011. Effect of nitrogen fertilization on chemical composition and rumen fermentation of different parts of plants of three corn hybrids. *Animal Feed Science and Technology* 164, 207–216.
- Mason, F., Pascotto, E., Zanfi, C., Spanghero, M., 2013. Effect of dietary inclusion of whole ear corn silage on stomach development and gastric mucosa integrity of heavy pigs at slaughter. *The Veterinary Journal* 198, 717-719.
- Maxwell, C.V., Reimann, E.M., Hoekstra, W.G., Kowalczyk, T., Benevenga, N.J., Grummer, R.H., 1970. Effect of dietary particle size on lesion development and on the contents of various regions of the swine stomach. *Journal of Animal Science* 30, 911-922.

- Millet, S., Meyns, T., Aluwé, M., De Brabander, D., Ducatelle, R., 2010. Effect of grinding intensity and crude fibre content of the feed on growth performance and gastric mucosa integrity of growing–finishing pigs. *Livestock Science* 134, 152-154.
- Millet, S., Kumar, S., De Boever, J., Meyns, T., Aluwé, M., De Brabander, D., Ducatelle, R., 2012. Effect of particle size distribution and dietary crude fibre content on growth performance and gastric mucosa integrity of growing–finishing pigs. *The Veterinary Journal* 192, 316-321.
- MIPAAF, Ministero delle Politiche Agricole e Forestali, 2007. Disciplinare di produzione della denominazione d’origine protetta “Prosciutto di San Daniele”. Supplemento ordinario alla “Gazzetta Ufficiale” n. 77 del 2 aprile 2007.
- Montanari, C., Corradini, E., Fattori G., 2015. Costo di produzione del suino pesante - Edizione 2015. *Opuscolo CRPA Notizie n. 2/2015*.
- Mordenti, A., Rizzitelli, N., Cevolani, D., 1992. *Manuale di alimentazione del suino*. Edagricole, Bologna, pp 278.
- Nanni Costa, L., Lo Fiego, D. P., De Grossi A., Russo, V., 1993. Relazioni tra attitudine alla stagionatura del prosciutto di Parma e contenuto di carne magra della carcassa in suini ibridi. *Rivista di Suinicoltura*, Vol. 34, 79-84.
- Nielsen, E.K., Ingvarsen, K.L., 2000. Effect of cereal type, disintegration method and pelleting on stomach content, weight and ulcers and performance in growing pigs. *Livestock Production Science* 66, 271-282.
- Noblet, J., Le Goff, G., 2001. Effect of dietary fibre on the energy value of feeds for pigs. *Animal Feed Science and Technology* 90, 35-52.
- Omosho, O.O., Ayoade, G.O., Emikpe, B.O., Adediran, O.A., Uwalaka, E.C., 2015. Identification of predisposing and risk factors associated with gastric lesions in pigs. *Asian Pacific Journal of Tropical Disease* 5, 825-829.
- O'Shea, C.J., Lynch, B., Lynch, M.B., Callan, J.J., O'Doherty, J.V., 2009. Ammonia emissions and dry matter of separated pig manure fractions as affected by crude protein concentration and sugar beet pulp inclusion of finishing pig diets. *Agriculture, Ecosystem & Environment* 131, 154-160.
- Øystein, V. S., Knut, H., Olav S., 2003. *Physiology of Domestic Animals*. Scandinavian Veterinary Press, Oslo, pp 735.
- Paintal, A.S., 1954. A study of gastric stretch receptors. Their role in the peripheral mechanism of satiation of hunger and thirst. *The Journal of physiology* 126, 255-270.

- Patráš, P., Nitrayová, S., Brestenský, M., Heger, J., 2012. Effect of dietary fiber and crude protein content in feed on nitrogen retention in pigs. *Journal of animal science* 90, 158–160.
- Philippe, F.X., Laitat, M., Wavreille, J., Nicks, B. Cabaraux, J.F., 2015. Effects of a high-fibre diet on ammonia and greenhouse gas emissions from gestating sows and fattening pigs. *Atmospheric Environment* 109, 197-204.
- Piasentier E., Favotto S., Saccà E., Sepulcri A., Vitale M., 2009a. Qualità della carne del suino pesante in rapporto al genotipo e allo stato di ingrassamento. In: *Qualità e sicurezza nella filiera del prosciutto*. pp 23-39.
- Piasentier, E., Di Bernardo, N., Morgante, M., Sepulcri, A., Vitale, M., 2009b. Fatty acid composition of heavy pig back fat in relationship to some animal factors. *Italian Journal of Animal Science* 8, 531-533.
- Poulsen, H.D., Jongbloed, A.W., Latimier, P., Fernández, J.A., 1999. Phosphorus consumption, utilisation and losses in pig production in France, The Netherlands and Denmark. *Livestock Production Science* 58, 251-259.
- Repetti, O., 2013. Insilaggi alternativi. In *Dossier unifeed*. *Informatore Zootecnico*, n.10, pp 38-42.
- Rérat, A., Fiszlewicz, M., Giusi. A., Vaugelade, P., 1987. Influence of Meal Frequency on Postprandial Variations in the Production and Absorption of Volatile Fatty Acids in the Digestive Tract of Conscious Pigs. *Journal of Animal Science* 64, 448-456.
- Robert, S., Matte, J.J., Girard, C.L., 1991. Effect of feeding regimen on behavior of growing-finishing pigs supplemented or not supplemented with folic acid. *Journal of Animal Science* 69, 4428-4436.
- Rojas, O.J., Stein, H.H., 2015. Effects of reducing the particle size of corn grain on the concentration of digestible and metabolizable energy and on the digestibility of energy and nutrients in corn grain fed to growing pigs. *Livestock Science* 181, 187-193.
- Rolls, E.T., Rolls, J.H., 1997. Olfactory sensory-specific satiety in humans. *Physiology & Behavior* 61, 461-473.
- Rossi, A., 2014. Cambia la popolazione suina. Scenari e nuove opportunità. *Rivista di Suinicoltura*, Vol. 11, pp 2-7.
- Rugge, M., Pinnelli, G., Pilozi, E., Fassan, M., Ingravallo, G., Russo, V.M., Di Mario, F., 2011. Gastritis: The histology report. *Digestive and Liver Disease* 43S, 373-384.
- Russo, V., 1998. Il suino pesante idoneo per l'industria di trasformazione. *L'informatore agrario* 17, 29–35.

- Serena, A., Jørgensen, H., Bach Knudsen, K. E., 2008. Digestion of carbohydrates and utilization of energy in sows fed diets with contrasting levels and physicochemical properties of dietary fiber. *Journal of Animal Science* 86, 2208-2216.
- St-Pierre, N., 2015. Statistical Issues in Nutritional Modelling. In *Nutritional modelling for pigs and poultry*. CAB International. pp 62-72.
- Swaby, H., Gregory, N.H., 2012. A note on the frequency of gastric ulcers detected during post-mortem examination at a pig abattoir. *Meat Science* 90, 269-271.
- Toscani, T., Virgili, R., Panciroli, A., Pecoraro, M., 2003. Proprietà chimiche e fisiche del tessuto adiposo di copertura del prosciutto di Parma. Effetto della lavorazione e della materia prima. Presented at the XXIX Meeting Annuale della Società Italiana di Patologia ed Allevamento dei Suini (SIPAS), Salsomaggiore Terme, Parma (Italia), pp. 109-130.
- van Barneveld, R.J., Hewitt, R., 2003. Influence of diet particle size and grain processing on the nutrient yield and gastro-intestinal health of growing pigs: A review. *CHM Alliance for the New Zealand Pork Industry Board* 1-22.
- Wondra, K.J., Hancock, J.D., Behnke, K.C., Hines, R.H., Stark, C.R., 1995a. Effects of particle size and pelleting on growth performance, nutrient digestibility, and stomach morphology in finishing pigs. *Journal of Animal Science* 73, 757-763.
- Wondra, K.J., Hancock, J.D., Kennedy, G.A., Behnke, K.C., Wondra, K.R., 1995b. Effects of Reducing Particle Size of Corn in Lactation Diets on Energy and Nitrogen Metabolism in Second-Parity Sow. *Journal of Animal Science* 73, 427-432.
- Zanfi C., Spanghero M., 2012. Digestibility of diets containing whole ear corn silage for heavy pigs. *Livestock Science* 145, 287-291.
- Zanfi, C., Colombini, S., Mason, F., Galassi, G., Rapetti, L., Malagutti, L., Crovetto, G.M., Spanghero, M., 2014. Digestibility and metabolic utilization of diets containing whole ear corn silage and their effects on growth and slaughter traits of heavy pigs. *Journal of Animal Science* 92, 211-219.
- Zervas, S., Zijlstra, R.T., 2002. Effects of dietary protein and fermentable fiber on nitrogen excretion patterns and plasma urea in grower pigs. *Journal of Animal Science* 80, 3247-3256.