



UNIVERSITÀ DI PARMA

Dipartimento di Scienze Medico-Veterinarie

Corso di laurea magistrale in Produzioni Animali Innovative e Sostenibili

**INFLUENZA DELL'ACIDO BENZOICO SULLE EMISSIONI DI
AMMONIACA E SULL'ASSORBIMENTO DEL CALCIO
NELL'ALIMENTAZIONE DEL SUINO PESANTE**

**INFLUENCE OF BENZOIC ACID ON AMMONIA EMISSIONS AND CALCIUM ABSORPTION IN
THE FEEDING OF HEAVY PIGS**

Relatore:

Prof. Massimo Malacarne

Correlatore:

Dott. Davide Bochicchio

Laureanda:

Eleonora Monaco

ANNO ACCADEMICO 2022/2023

INDICE

Abstract	6
INTRODUZIONE	7
1. IL SUINO: CENNI STORICO CULTURALI	9
1.2 Classificazione e caratteristiche delle principali razze allevate	10
1.3 L'allevamento suinicolo e la sua evoluzione	11
1.3.1 L'allevamento intensivo.....	12
1.3.2 L'evoluzione dell'allevamento suino nell'italia centro-settentrionale	16
1.3.3 Dalle razze autoctone al suino pesante	17
1.4 La struttura del settore suinicolo	19
1.5 Il suino pesante italiano	21
1.5.1 Il programma di selezione.....	22
2. L'IMPATTO AMBIENTALE ASSOCIATO ALL'ALLEVAMENTO SUINO	25
2.1 Emissioni di ammoniaca: la situazione in Emilia Romagna	30
2.2 La nutrizione azotata del suino pesante	33
2.2.1 I fabbisogni di calcio e fosforo	35
2.2 La relazione tra alimentazione ed emissioni di NH ₃	36
2.2.1 Strategie e tecniche di alimentazione per ridurre le emissioni di ammoniaca.....	39
2.3 Aspetti normativi in ambito ambientale applicati al settore suinicolo	40
2.3.1 Misure per la riduzione delle emissioni di ammoniaca	44
2.3.2 Bilancio e gestione dell'azoto.....	46
2.4 L'acido benzoico come strategia per ridurre le emissioni di ammoniaca	50
2.4.1 L'effetto dell'alimentazione acidificante a lungo termine sull'equilibrio minerale e sulla mineralizzazione ossea	52
3. LE MOTIVAZIONI DEL PROGETTO DI RICERCA	54
3.1 Materiali e metodi	56
ANIMALI E DIETE.....	56
RACCOLTA E ANALISI DEI CAMPIONI.....	58
ANALISI STATISTICA.....	60
3.2 Risultati zootecnici	61
3.2.1 Risultati ambientali	64
3.3 DISCUSSIONE	69

3.4 CONCLUSIONI.....	70
Bibliografia.....	73

Abstract

This thesis is part of the PigBen research project: "Reducing ammonia emissions from heavy pigs with diets supplemented with benzoic acid". The aim was to assess the productive and environmental impacts of benzoic acid integration into the diet of heavy pigs. 264 crossbred Duroc Italiana x Large White Italiana pigs were evenly distributed by sex and initial weight into 2 experimental groups (treated and control), monitored in 2 fattening cycles: a winter cycle, where the experimental diet with 1% benzoic acid was compared with low-protein diets, and a summer cycle, where the comparison was with standard-protein diets. The farm organization allowed for differentiated manure sampling for each group of animals and independent quantification of ammonia concentrations for each room. The investigation also included daily assessment of the health status of the animals, data collection on both in-life and post-slaughter performance, and analysis of the calcium and phosphorus content of bones to detect any effects of organic acid on mineral balances. The results indicate that benzoic acid integration did not significantly affect the productive performance of pigs, nor did it compromise the quality of meats intended for the PDO (Protected Designation of Origin) circuit. However, bone analysis showed a slight decrease in mineral content in treated pigs, suggesting an impact on mineral balance and bone density. Despite this, no negative effects on the health of the animals were observed. In conclusion, it emerged that benzoic acid can lead to a significant reduction in ammonia emissions, both with low-protein and standard-protein diets, with a decrease of 22% and 20%, respectively

INTRODUZIONE

Le produzioni animali forniscono un importante contributo all'economia della grande maggioranza dei paesi dell'Unione Europea, per molti dei quali i prodotti della zootecnia rappresentano il valore più alto della produzione agricola (FAO, 2020). Negli ultimi decenni il settore zootecnico si è reso protagonista di una profonda intensificazione degli allevamenti. Tale fenomeno ha comportato una parziale dissociazione dalla produzione agricola e un corrisposto aumento dell'impiego da parte delle aziende, di mangimi d'importazione (FAO, 2020). Inoltre, a partire dagli anni 60, la popolazione mondiale ha visto il suo numero raddoppiarsi e nello stesso lasso di tempo, il reddito medio globale è cresciuto in modo esponenziale. Le previsioni relative ad un'ulteriore crescita demografica nei prossimi anni (Nazioni Unite, 2022) e ad un conseguenziale incremento della richiesta di prodotti di origine animale (FAO, 2020), sono dunque fonte di gravi preoccupazioni ambientali dalle quali derivano improrogabili responsabilità inerenti alla declinazione sostenibile dell'intero settore agricolo. Un simile scenario comporta nuove sfide legate alla gestione, al trattamento e allo smaltimento di letame e liquame, ai quali si attribuisce un aumento delle concentrazioni di nutrienti nei campi coltivati oltre che nelle acque sotterranee e superficiali, con conseguenze dirette anche sulle emissioni in atmosfera di ammoniaca e dei cosiddetti gas a effetto serra (GHG). Tali circostanze rappresentano infatti una grave minaccia alla stabilità ecologica non soltanto delle regioni in cui si svolge la produzione intensiva di bestiame ma bensì dell'intero pianeta.

Le emissioni gassose (NH_3 , CO_2 , N_2O e CH_4) derivanti dalle stalle, dallo stoccaggio di letame e liquami e dallo spargimento su terreni coltivati, sono pertanto imputabili di un rilevante onere ambientale associato soprattutto agli allevamenti zootecnici intensivi. In particolare, la specie suina e avicola sono soggette a normative ambientali volte a ridurre l'impatto soprattutto verso l'atmosfera. L'ammoniaca rilasciata in eccesso nell'atmosfera è un importante gas inquinante che accelera la formazione di particolato fine nella troposfera e svolge un ruolo cruciale nell'acidificazione e nell'eutrofizzazione degli ecosistemi (Krupa, 2003). Nei locali di stabulazione, NH_3 è invece un noto gas irritante con effetti negativi sulla produzione, sulla salute e sul benessere degli animali (Banhazi et al., 2008), i cui segni clinici associati includono: tosse, starnuti, salivazione, secrezioni lacrimali eccessive, perdita di appetito e comportamento letargico (Donham, 2000; Kim et al., 2008). Entro il 2050, le emissioni globali di NH_3 dovrebbero raddoppiare, principalmente a causa della sopracitata crescita demografica, dell'aumento del consumo di carne dovuto anche a cambiamenti nelle preferenze alimentari e dell'intensificazione della zootecnia e dell'agricoltura (Krupa, 2003, Clarisse et al., 2009).

In linea con le misure normative internazionali risultanti dal Protocollo di Göteborg, gli Stati membri europei hanno ora implementato programmi nazionali per adempiere ai propri obblighi di riduzione delle emissioni di ammoniaca e GHG (UNECE, 2021). Questi interventi si basano su documenti ufficiali che riportano le attuali conoscenze scientifiche e le migliori tecniche per ridurre l'inquinamento: "Documento di indirizzo per la prevenzione e l'abbattimento delle emissioni di NH_3 da fonti agricole e zootecniche" (UNECE, 2014). Le indicazioni e le informazioni inerenti alle tecniche individuali o in combinazione, unitamente alle valutazioni relative all'efficacia e ai costi di tali azioni,

possono essere reperite nel documento BREF, relativo all'individuazione delle BATs (best available techniques), ovvero le soluzioni di cui devono avvalersi gli allevamenti suini e avicoli soggetti alla direttiva IED, per ridurre le emissioni nelle diverse fasi produttive.

Esistono diverse linee guida e raccomandazioni per mitigare le emissioni di ammoniaca. Tra queste rientrano innumerevoli e comprovate esperienze sull'efficienza delle diete a basso tenore proteico per ridurre l'azoto escreto. Ulteriori abbattimenti delle emissioni possono essere conseguiti mediante strategie di acidificazione delle deiezioni tramite integrazione del mangime con additivi acidificanti. A tale scopo il BREF individua l'acido benzoico il cui uso è autorizzato dal regolamento 1138/2007/EC come acidificante delle urine.

Il settore suinicolo italiano è principalmente focalizzato sulla produzione di suini pesanti, utilizzati per fornire cosce destinate al circuito del prosciutto crudo, un tradizionale salume a base dell'intero arto posteriore lavorato. Numerosi articoli hanno quantificato l'effetto dell'acido benzoico nelle diete di suini macellati a un peso corporeo standard di 90-120 kg (Bühler K et al., 2006; Eriksen J. et al., 2010; Murphy et al., 2010). Tuttavia, vi è una carenza di informazioni in letteratura riguardanti gli effetti dell'acido benzoico sul suino pesante italiano. L'obiettivo di questa tesi è quindi quello di valutare l'efficacia dell'acido benzoico nel mitigare ulteriormente le emissioni di NH₃ quando integrato in diete sia a contenuto proteico standard che ridotto e stabilire se e in quale misura una prolungata somministrazione di questo acido organico come additivo per mangimi possa condurre ad un'alterazione del metabolismo osseo degli animali. È difatti fondamentale individuare anche eventuali criticità dovute ad un utilizzo prolungato di acido benzoico. In particolare, è stato osservato un aumento dell'escrezione di calcio e fosforo come effetto avverso dell'aggiunta di acido benzoico alla dieta, nonché una diminuzione della densità ossea. Tale fenomeno potrebbe risultare alquanto rischioso nel caso del suino pesante, il cui allevamento protraendosi fino a 160-180 kg di peso, comporta maggiori sollecitazioni dell'apparato scheletrico rispetto ad un suino leggero, la cui produzione non richiede il raggiungimento di una mole altrettanto importante. Questa tesi esplora il progetto PigBen "Ridurre le emissioni di ammoniaca del suino pesante con diete additivate di acido benzoico", un'iniziativa realizzata nell'ambito del Programma regionale di sviluppo rurale 2014-2020 dell'Emilia-Romagna per l'innovazione produttività e sostenibilità dell'agricoltura, più precisamente ridurre le emissioni di gas a effetto serra e di ammoniaca prodotte dall'agricoltura. La composizione del Gruppo Operativo PIGBEN rivolto allo studio delle innovazioni nel campo della riduzione delle emissioni di ammoniaca negli allevamenti suinicoli da ingrasso, mediante interventi sulla alimentazione ha previsto la partecipazione degli Enti di Ricerca CRPA e CREA-ZA.

1. IL SUINO: CENNI STORICO CULTURALI

Il suino è tassonomicamente classificato come ungulato appartenente all'ordine degli artiodattili e alla famiglia dei suidae, ovverosia mammiferi monogastrici facenti parte del genere *Sus* e della specie *Sus scrofa*, nome scientifico quest'ultimo che, per poter identificare il suino addomesticato, viene talvolta esteso a *Sus scrofa domesticus*. Elemento indiscutibilmente distintivo per questa specie è la singolare "plasmabilità", la quale ha permesso, molto più che in altri contesti, l'attuarsi di un mirato processo selettivo che ha necessariamente condotto alla rapida introduzione di notevoli variazioni anatomiche e somatiche oltre che alla creazione di un cospicuo numero di razze in Europa, America e Asia. Tali razze (specialmente in origine) si differenziano le une dalle altre per alcuni caratteri morfologici e funzionali (spiccato accumulo di grasso nelle razze asiatiche, maggior tendenza alla carnosità nelle razze europee), ma risultano tra di loro feconde (White, 2011).

L'addomesticamento di questi animali costituisce un'importante pietra miliare tra le transizioni socioeconomiche che hanno caratterizzato la storia dell'uomo (Larson et al., 2014). Effettivamente i suini sono stati tra i primi animali ad essere addomesticati insieme a cane, capra, pecora e bovino e da allora rivestono un ruolo fondamentale nelle società agricole di tutta l'Eurasia. L'Anatolia orientale (Zeder, 2008) e la Cina centrale (Bosse, 2019) rappresentano i due principali centri in cui il suino è stato addomesticato in modo indipendente circa 10.000 anni fa. I suini anatolici sono stati trasportati in Europa dagli allevatori del Neolitico antico circa 2.000 anni dopo (Bosse, 2019). L'addomesticamento non è stato pertanto un singolo evento, bensì un lungo periodo caratterizzato da ricorrenti mescolanze che hanno coinvolto anche le popolazioni selvatiche, esattamente come accadde nel continente europeo, dove il genoma orientale venne ibridato con quello del cinghiale. In Europa, l'allevamento si diffuse specialmente nelle aree meridionali. Per ragioni igieniche e dietetiche, gli israeliti e poi i musulmani vietarono invece il consumo delle carni suine le quali, al contrario, furono molto apprezzate da greci e romani.

All'addomesticamento iniziale, seguì una netta e profonda divergenza per quanto concerne i tratti selezionati per necessità e le modalità con cui gli animali venivano tenuti in Europa rispetto in Asia, differenza che si concretizzò con la creazione di suini domestici molto diversi tra i due continenti. Infatti, mentre i suini asiatici venivano confinati in aree circoscritte situate in prossimità dell'uomo e spesso persino integrati negli insediamenti, i suini europei più spesso vagavano e grufolavano liberamente nelle aree boschive circostanti l'abitato (White, 2011). Solo più avanti, durante la rivoluzione industriale, fu introdotto e implementato un sistema di allevamento più scrupoloso e realizzata un'ibridazione con i suini asiatici nell'intento di soddisfare la crescente domanda di carne, in particolare suina. Ovverosia gli allevatori per conformarsi all'ambiente in forte evoluzione, dovettero servirsi dei lignaggi asiatici per migliorare il bestiame principalmente con il proposito di garantirne l'adattamento a spazi più ridotti, diventare più prolifico e aumentare il peso vivo molto più rapidamente. Ciò ha quindi naturalmente condotto alla selezione dei tratti che più soddisfacevano le necessità del tempo, molti dei quali si potevano per l'appunto già ritrovare nei suini domestici asiatici (Giuffra, 2000). Un esempio si ritrova nei geni di origine asiatica che

contribuirono all'aumento della fertilità e del grasso nei suini Large White commerciali, razza oggi largamente impiegata anche per le produzioni DOP italiane.

Tutto ciò ha inciso non soltanto in termini di quantità di carne prodotta ma persino sulla qualità e sulle caratteristiche organolettiche delle carni. Queste presentano un colore particolare tendente al rosa più o meno intenso, a seconda appunto della razza ma anche dell'età, del sesso (più scure nei riproduttori adulti), della regione del corpo (più chiare nell'anteriore e a livello dei lombi) e del tipo di alimentazione. Generalmente l'aspetto risulta tenero e vellutato, di grana fine, sode e untuose al tatto mentre le caratteristiche delle fibre muscolari (importanti ai fini della sapidità e della morbidezza delle carni) variano in funzione al grado di perfezionamento della razza (Maiorano, 2009).

1.2 Classificazione e caratteristiche delle principali razze allevate

Nei vari paesi, le razze suine vengono differenziate raggruppate in funzione dell'aspetto produttivo sulla base delle richieste dei mercati di consumo (Succi, 1999). In alcuni di questi paesi la classificazione del tipo costituzionale identifica razze da bacon (bacon type), razze da carne (pork type), razze da lardo (lard type) e razze ad attitudine mista (Testa, 2002). In virtù dell'origine, le razze suine più rilevanti si possono suddividere in tre ampi gruppi, cui trovano corrispondenza anche alcune caratteristiche produttive, somatiche ed economiche: Razze europee grasse e magre, prevalentemente monoprodottrici; Razze americane a duplice produzione; Razze asiatiche estremamente grasse (Succi, 1999). Relativamente alle razze europee vengono delineati diversi raggruppamenti presentati nell'agosto 1966 presso il congresso di Edimburgo (Succi, 1999). Si individuano dunque:

- Razze bianche del tipo carnoso aventi molteplici attitudini; costituiscono all'incirca il 75% della popolazione suina presente in Europa (Succi, 1999) e si suddividono a loro volta in due categorie di razze: a orecchie dritte, come Large White e a orecchie pendenti, tipo Landrace.
- Razze altamente specializzate che in Europa sono fondamentalmente due ovvero Pietrain e Landrace; si caratterizzano per la produzione di carne magra, con un'ottimale ripartizione della stessa all'interno carcassa e per le eminenti capacità di conversione degli alimenti, di prolificità, di robustezza e di precocità. Tra queste si inserisce anche la Mangalica, una razza ungherese di antica origine asiatica, raggiunge un peso vivo di 140 kg e si presta in particolare alla produzione di lardo e carne grassa.
- Esistono anche razze considerate locali ovvero tradizionali e più rustiche che vengono allevate in precise aree geografiche e che includono le razze nere, eventualmente provviste di una fascia bianca sulle spalle (cinghiatura) o altre pezzature. Tra queste si rammentano razze un tempo importanti, come quelle britanniche Essex, Wessex e Large Black o francesi come Limousine e italiane tra le quali Mora Romagnola, Cinta senese, Maremmana, Casertana, Nero siciliano, Calabrese. Tuttavia, l'allevamento delle razze locali si è perso con

il tempo e continua a ridursi sensibilmente come risultato dell'affermarsi dei sistemi intensivi di allevamento ma anche in risposta alle attuali esigenze di commercio, che richiedono carcasse con requisiti superiori, uniformi e che deprezzano le macchie nerastre che possono penetrare a livello di sottocute.

La suinicoltura moderna non risulta essere finalizzata all'allevamento di animali di razza pura, quanto piuttosto all'impiego di incroci fra razze aventi diversa attitudine o di "ibridi" specializzati (ANAS, 2020). La volontà è quella di esaltare le caratteristiche maggiormente desiderate che generalmente coincidono con rusticità, rapidi ed elevati accrescimenti, favorevoli indici di conversione alimentare, buona carnosità combinata a un'adeguata conformazione dei prosciutti (ANAS, 2020). Non di minor rilievo sono in ogni caso le razze pure, le quali rappresentano un tassello fondamentale della piramide produttiva, gran parte della qualità ottenibile sul prodotto finito dipende, infatti, dalle attività di miglioramento genetico alle quali sono state sottoposte.

Le razze ottenute dall'intenso processo di selezione e di miglioramento genetico eccellono dunque nelle capacità materne, risultando in animali estremamente prolifici, dotati di una cospicua produzione latte e dall'indole docile ed amorevole verso i suinetti, indispensabile per limitarne le perdite nei primi giorni di vita. Al contempo devono presentare caratteristiche trasmissibili ai suini destinati alla macellazione. tali prerogative, usualmente trasmesse dai verri, includono rusticità, elevati accrescimenti ed efficienza alimentare, nonché un'elevata carnosità correlata a una buona qualità tecnologica delle carni. Quest'ultimo aspetto risulta essenziale soprattutto per i suini pesanti dell'industria salumiera. In linea di massima, le razze che assolvono perfettamente tale compito sono: la Duroc, la Large White per il suino pesante, nonché la Pietrain e la Landrace Belga per il suino leggero.

1.3 L'allevamento suinicolo e la sua evoluzione

I sistemi agricoli così come i modi di pensarli sono progrediti nello spazio e nel tempo e la loro evoluzione è incessante. Anche l'allevamento del suino è stato pertanto oggetto di un significativo processo evolutivo che ha segnato il passaggio dalle più rudimentali pratiche di gestione del bestiame ai moderni sistemi industrializzati (Cronin, 2014). Tale evoluzione è stata dettata dall'aumentata domanda di carne suina, dal progresso delle varie discipline tecniche e scientifiche, dall'urbanizzazione e dalle rinnovate conoscenze tecnologiche (Rauw, 1998).

Inizialmente l'allevamento tradizionale era primariamente una pratica locale e convenzionale. I suini venivano tenuti all'aperto, dove potevano nutrirsi con ciò che la natura offriva come radici, ghiande e altri vegetali. L'allevamento era normalmente di piccola scala e certamente non industriale. Con l'avanzare delle conoscenze e delle tecniche agricole si comprese successivamente l'importanza della corretta gestione dell'alimentazione per aumentare la crescita degli animali e migliorare la qualità delle carni. Venne così introdotta l'alimentazione controllata, prettamente fondata su una dieta bilanciata e sull'uso di mangimi per suini (Cronin, 2014).

La selezione genetica marcò in seguito un punto di svolta: con l'avanzamento della genetica e la delimitazione delle caratteristiche maggiormente desiderabili nei suini, vennero sviluppate razze suine miratamente specializzate nel produrre quantitativi maggiori di carne e nel crescere più rapidamente. La selezione giocò dunque un ruolo cruciale nell'incrementare l'efficienza e la capacità produttiva suinicola (Berckmans, 2014).

In un secondo tempo la suinicoltura fu soggetta ad intensificazione dell'allevamento. La domanda sempre più crescente di carne suina impose infatti un regime di attività più intensiva, alla quale si fece fronte attraverso l'introduzione di sistemi di stabulazione in ambienti controllati, per massimizzare la produzione e limitare le perdite associate a predazione o a condizioni climatiche sfavorevoli.

Nella seconda metà del XX secolo, la suinicoltura è stata protagonista di un'ulteriore industrializzazione. Esordì cioè, l'installazione di estesi impianti di produzione suinicola, noti come allevamenti intensivi, ovvero strutture fortemente meccanizzate e concentrate in un unico impianto. Si tratta di sistemi di allevamento che consentono ancora oggi di ottenere una produzione di massa e una migliore efficienza dovuta al maggior numero di capi allevati in spazi innaturali molto più contenuti ma alquanto più facili da controllare (Berckmans, 2014).

In un simile contesto crebbe nel tempo l'attenzione verso tematiche legate al benessere animale e la sostenibilità ambientale. Si rese così necessaria l'introduzione di specifiche norme che tutelassero tanto le condizioni di vita degli animali quanto l'ambiente. Molti produttori dovettero quindi adeguarsi a pratiche di allevamento più etiche e sostenibili. Gli sforzi di transizione ecologica (nelle sue diverse declinazioni) furono sostenuti da un'implementazione mediante tecnologie innovative. Queste prevedono ancora oggi l'impiego di sistemi di monitoraggio e gestione avanzati, sia per garantire il benessere della mandria e il controllo ambientale, sia per ottimizzare la nutrizione. Alcuni produttori iniziarono anche ad esplorare nuove tecniche di allevamento, come il pascolo controllato (Cronin, 2014).

È importante tuttavia rimarcare che, nonostante tutti i progressi raggiunti dall'allevamento suino, sono tuttora aperti innumerevoli dibattiti relativi al benessere animale e alle conseguenze dell'industrializzazione sull'ambiente e sulla salute umana. Pertanto, se si desidera garantire una sostenibilità a lungo termine, risulta fondamentale insistere sulla ricerca di soluzioni pratiche atte a stabilire il massimo equilibrio perseguibile tra la produzione di carne suina e le preoccupazioni etiche e ambientali.

1.3.1 L'allevamento intensivo

Negli ultimi due decenni si è verificata una rapida evoluzione dei sistemi agricoli, in seguito alla quale non sono però solo aumentate le rese delle colture e del bestiame, ma anche le preoccupazioni per le relative implicazioni socioeconomiche ed ambientali.

L'evoluzione dell'industria suinicola ha condotto nel tempo non solo ad una considerevole concentrazione della produzione per mantenere e garantire alti livelli di profitto, ma ha portato

anche alla nascita di nuove importanti strutture organizzative, come le filiere suinicole. I rapidi cambiamenti in termini di resa per animale e di utilizzo dei fattori di produzione hanno coinvolto tanto i paesi più industrializzati quanto quelli in via di sviluppo. A lungo andare, l'aumento della pressione demografica ha poi condizionato fortemente le caratteristiche che assumevano le materie prime e i prodotti finiti delle aziende zootecniche, la cui tendenza è naturalmente quella di adattarsi e cambiare anche in funzione delle inclinazioni socioeconomiche e culturali della società. Tali importanti trasformazioni, che hanno riguardato le rese ma anche i prezzi e i metodi di allevamento, rappresentano l'evoluzione temporale e spaziale dei sistemi zootecnici (Cronin, 2014).

I sistemi di allevamento hanno subito un cambiamento radicale soltanto nel ventesimo secolo, dopo una lunga fase di gestione degli animali fondamentalmente allo stato brado, sfruttando principalmente il bosco e al massimo integrando l'alimentazione in una limitata fase d'ingrasso pre-macellazione, oppure di detenzione di singoli animali come riutilizzatori di rifiuti familiari o di attività casearie. Questo si è verificato soprattutto nella Seconda metà del secolo, per il sovrapporsi di alcuni fattori, come: l'introduzione di migliori sistemi controllo delle "grandi malattie", soprattutto epizootiche, che rendevano impossibile stabulare insieme elevate concentrazioni di suini; lo sviluppo della genetica e la divulgazione scientifica dei suoi risultati; la maggiore disponibilità, anche come conseguenza della rivoluzione verde, di elevati quantitativi di alimenti vegetali a basso costo e ancora, la possibilità di intervenire e controllare l'alimentazione grazie anche all'acquisizione di migliori conoscenze sulla nutrizione suina applicate su vasta scala. Anche l'impiego di energia di origine fossile a costo relativamente basso, seppure solo recentemente in progressivo aumento, e di tecnologie capaci di ridurre al minimo la mano d'opera, sono stati fattori determinanti per il verificarsi del cambiamento.

Il susseguirsi e l'integrarsi dei sopracitati eventi, ha modificato profondamente i sistemi di allevamento ed ha portato, anche in suinicoltura, allo sviluppo di allevamenti intensivi o specializzati, che tuttavia, a livello mondiale, non hanno del tutto soppiantato i sistemi tradizionali. L'impulso principale per la produzione animale intensiva "moderna" si è verificato dopo la seconda guerra mondiale, quando i governi dei paesi occidentali introdussero politiche che garantivano una maggiore disponibilità di alimenti economici e sostanziosi (come le proteine) per la popolazione. Contemporaneamente però, gli allevatori dovevano aumentare la produttività per far fronte all'aumento dei costi. Le prime categorie di bestiame che vennero "industrializzate" furono il pollame (uova, polli da carne, tacchini, anatre, oche), suini, bovini e agnelli e, più recentemente, ovini alloggiati in capannoni in modo intensivo per la produzione di lana fine.

Ancora oggi i sistemi di allevamento sono piuttosto diversificati, ciò in funzione di diversi elementi come: clima, suolo (disponibilità e caratteristiche, anche in relazione all'utilizzazione delle deiezioni), natura dei sistemi agricoli locali (disponibilità di alimenti), razze e tipologie morfologiche allevate, ambiente socioeconomico (anche in relazione al grado di urbanizzazione, sistema di trasporti e disponibilità di mano d'opera), utilizzazione delle carni (fresche o trasformate), tecnologie di trasformazione delle carni; produzioni salumiere tipiche.

Attualmente, in linea di massima si sono sviluppati quindi due grandi e divergenti tipologie (con innumerevoli varianti) di sistemi di allevamento suino: estensivo ed intensivo. Il Sistema di allevamento Estensivo si caratterizza per il limitato numero di capi allevato per ettaro e le maggiori possibilità per gli animali di espletare un comportamento naturale e di beneficiare di più grande libertà di movimento; l'alimentazione è in parte sostenuta da sottoprodotti agricoli, mentre la bassa produttività per capo allevato, è talvolta compensata da altre produzioni complementari; vi è spesso un limitato impiego di tecnologie e la gestione di parassitosi ed infezioni classiche, risulta più complessa. Il sistema organizzativo più ricorrente prevede di sfruttare strutture fisse come ricoveri per le scrofe durante il parto, l'allattamento e l'accoppiamento successivo, mentre nel periodo di gestazione sono mantenute all'aperto in pascoli confinati.

Il Sistema di Allevamento Intensivo implica invece prerogative tendenzialmente contrapposte al Sistema di allevamento estensivo. La transizione dalla stabulazione estensiva a quella intensiva ha introdotto cambiamenti significativi in suinicoltura. Infatti, non solo offre una valida garanzia di massima efficienza produttiva, ma concorre anche in modo sostanziale all'economia di svariati paesi europei in termini occupazionali e commerciali (export). Gli animali a loro volta beneficiano potenzialmente di un migliore riparo dagli estremi ambientali e dai predatori oltre che di una supervisione più frequente e scrupolosa da parte dell'allevatore (Price, 2002). Cure e attenzioni più meticolose assicurano di fatti una migliore gestione nutrizionale e sanitaria, promuovendo in particolare condizioni igieniche più opportune. Ad esempio, la scelta di introdurre la pavimentazione fessurata contribuisce a ridurre la morbilità e la mortalità dei suinetti a seguito di infezioni (Petherick, 2005). Tuttavia, il Sistema di Allevamento Intensivo comporta diversi costi per l'animale, attribuiti soprattutto ad una alterazione del naturale comportamento sociale, all'imposizione dei compagni di box, alla scarsa stimolazione ambientale e alle limitate possibilità di espletare i comportamenti propri della specie. Peraltro, è implicita nell'allevamento intensivo, la stretta dipendenza dell'animale da regolari input dell'uomo per garantirne il benessere e le ottimali prestazioni produttive.

Le pratiche zootecniche intensive permettono inoltre un più rigido controllo delle condizioni ambientali come l'influenza del fotoperiodo, la temperatura e l'umidità, riducendo così considerevolmente gli effetti della stagionalità sulla produzione. Il controllo ambientale dei ricoveri è una questione di primaria importanza per l'attività zootecnica, poiché da esso dipendono in gran parte la salute e le capacità produttive degli animali. Tra tutti gli interventi possibili la ventilazione in particolare riveste un ruolo decisivo nella creazione e nella conservazione di un ambiente adeguato alla vita e al benessere del suino (e dell'uomo), oltre ad essere indispensabile per limitare il deterioramento precoce degli impianti, dei materiali edili e delle attrezzature presenti all'interno degli edifici. La ventilazione consente l'apporto regolare di ossigeno, l'allontanamento dei gas nocivi e delle polveri, l'eliminazione del vapore acqueo in eccesso e del calore sensibile animale. In alcuni casi, l'aerazione è anche una valida soluzione adottata per ridurre gli odori e mitigare la produzione di NH_3 attraverso la promozione della nitrificazione (Jiang, 2011). Ciò è fondamentale per assicurare la creazione di un microclima volto alla sostenibilità e all'efficienza produttiva.

La selezione genetica unita alla produttività costante e strettamente controllata conseguita mediante l'approccio intensivo, offre pertanto la garanzia di ottenere rese omogenee per tutto il corso

dell'anno e di conseguenza, l'ottenimento di un rendiconto finanziario regolare per l'allevatore (Cronin, 2014).

Nonostante i sistemi di stabulazione intensiva unitamente alla politica dei sussidi, all'agroindustria e l'approccio riduzionista industriale abbiano rinnovato radicalmente la disponibilità e l'accessibilità economica delle proteine animali, sono presto emerse preoccupazioni sociali circa le ripercussioni ambientali, etiche e di benessere di tale pratica di allevamento. Infatti, entro il 2050 si prevede che la popolazione mondiale supererà i nove miliardi (FAO, 2022), di questa l'80% proverrà da paesi in via di sviluppo e presenterà proporzionalmente redditi più elevati. Di conseguenza verrà incoraggiato l'accesso alle proteine animali (carne, latte, uova) e quindi a diete paragonabili a quelle dei paesi più sviluppati. Per di più, nei paesi in via di sviluppo l'aumento della produzione di carne già avvenuto in passato dal 1961 al 2001 ha riguardato in particolare pollame e suini allevati in modo intensivo (Fraser, 2005). Le prospettive future sono perciò di crescita continua per quanto concerne la produzione di carne di suino, pollame (carne e uova), ma anche latte (IFPRI, 2020) e con l'aumento della produzione, si prevede che le emissioni incrementeranno di pari passo.

L'impatto ambientale associato al sistema suinicolo è un problema relativo principalmente alle emissioni attribuibili all'escrezione di azoto e fosforo. Quest'ultime stanno raggiungendo livelli allarmanti nelle aree di produzione suinicola più intensiva, principalmente a causa dell' NH_3 che volatilizza durante lo stoccaggio degli effluenti zootecnici (Launay, 2014). La quantità di ammoniaca volatilizzata è correlata principalmente al sistema di stabulazione, al sistema di stoccaggio e di spargimento, nonché alla forma fisica del refluo e all'alimentazione. Le diete tradizionali a base di farina di mais e soia sono in genere ad alto contenuto proteico perché possano soddisfare il fabbisogno di lisina dei suini. Ciò spesso comporta livelli di proteine grezze eccessivamente elevati nelle razioni, delle quali però solo una piccola parte viene effettivamente assimilata, ovvero importanti percentuali di proteine non vengono digerite e vengono invece eliminate in grandi quantità attraverso le feci e l'urina. È dunque essenziale dal punto di vista nutrizionale, così come ambientale, considerare il rapporto esistente tra il tenore proteico degli alimenti e il quantitativo di azoto disperso nell'ambiente in funzione della resa alimentare e quindi dell'efficienza di conversione degli alimenti, solitamente scarsa nel suino all'ingrasso (circa del 30%).

Le pratiche di stoccaggio e trattamento degli effluenti sono altri due elementi determinanti per le emissioni di ammoniaca nell'allevamento suino. Pur variando ampiamente nella composizione, i liquami si caratterizzano infatti per gli elevati contenuti di azoto e carbonio e un variabile contenuto di solidi totali (Xie, 2011). Le deiezioni possono essere gestite in diversi modi a seconda del sistema di allevamento impiegato, nonché dei requisiti ambientali specifici del sito. Nei sistemi di allevamento intensivi gli animali sono comunemente alloggiati in box, la cui tipologia di pavimentazione varia a seconda delle scelte strutturali. I pavimenti fessurati sono i più frequentemente adottati negli impianti destinati ai suini riproduttori (verri, scrofe e scrofette) e a quelli in accrescimento e ingrasso, sia in stabulazione individuale, che collettiva. La pavimentazione fessurata totale o parziale, è realizzata per mezzo di lastre prefabbricate in calcestruzzo armato e consentono di ottenere deiezioni di tipo liquide, che solitamente vengono successivamente

distribuite sugli appezzamenti limitrofi all'allevamento per essere impiegate come fertilizzante. La gestione in forma liquida è il metodo più diffuso negli allevamenti intensivi europei. In questo caso i liquami vengono tipicamente raccolti in fosse disposte sotto i pavimenti fessurati sui quali sono alloggiati i suini (Burton, 2007). Le fosse in cui si accumulano le deiezioni vengono quindi periodicamente svuotate all'interno di serbatoi di stoccaggio a lungo termine. Nei paesi dell'Unione Europea sono in vigore specifici regolamenti volti a garantire un idoneo ciclo dei nutrienti e a ridurre l'impatto sui corsi d'acqua derivante dallo spargimento del letame sul suolo. Tali normative stabiliscono che il letame possa essere sparso sul terreno solo durante i periodi primaverili/estivi, in genere quando è probabile che il clima sia più secco (McKenna, 2013). Pertanto, il letame può essere stoccato per un periodo compreso tra 1 e 10 mesi prima di essere effettivamente applicato come fertilizzante (Burton, 2003).

Assunte nel complesso queste condizioni suggeriscono che, oltre alla produzione di alimenti, chi opera nel settore zootecnico assume un ruolo decisivo nella gestione del benessere animale, del territorio e dell'ambiente. Se infatti le premesse per il futuro sono di un'inevitabile tendenza verso sistemi di produzione animale a più alta densità, la necessità diviene allora quella di porre enfasi sull'individuazione e l'adozione di soluzioni sostenibili che consentano di ridurre le emissioni associate al settore, applicando standard richiesti di salvaguardia ambientale in quanto patrimonio comune.

1.3.2 L'evoluzione dell'allevamento suino nell'Italia centro-settentrionale

Come affermato in precedenza la produzione suina italiana, rispetto a quella di altri paesi, si differenzia per l'elevato peso vivo alla macellazione. I suini vengono macellati a 9-11 mesi d'età quando raggiungono un peso vivo di 150-170 kg e forniscono carcasse di 125-140 kg mantenendo una corretta adiposità (Maiorano, 2009). L'allevamento è dunque tradizionalmente orientato alla produzione del cosiddetto suino pesante italiano, strettamente legato al mercato dei prosciutti DOP e della salumeria tipica (Maiorano, 2009).

L'allevamento del suino pesante ha radici molto antiche. Dai diversi frammenti ossei rinvenuti in vari scavi, molti dei quali realizzati lungo le sponde del Panaro, si desume che l'allevamento di suini, ovi-caprini e bovini sia fiorito nel Nord-Italia durante il neolitico. In particolare, è emerso che la fertilità dei terreni e le vaste zone boschive limitrofe al Panaro, hanno contribuito molto più che in altre aree della stessa regione Emilia Romagna, a creare le condizioni più favorevoli allo sviluppo della pratica dell'allevamento. Dapprima però, come rivelano i reperti ossei e com'è logico immaginare, il bestiame veniva prettamente sfruttato per sopperire alle esigenze della famiglia o di un modesto villaggio (Mipaaf, 2013).

Soltanto più tardi, in epoca etrusca, incomincia ad essere adottata una pratica di allevamento stabile e specializzata, il cui scopo era la produzione di carne suina e bovina, ma anche di lana, latte ed

eventuali suoi derivati, con la finalità non solo di soddisfare i fabbisogni locali ma anche di esportare i prodotti verso altri insediamenti.

Inoltre, dal ritrovamento di un numero sorprendentemente elevato di reperti risalenti a questo periodo, è risultato che il 60% appartenevano alla specie suina, evidente segnale di una certa predilezione degli antichi etruschi per l'allevamento del suino. Attraverso approfonditi studi condotti sulle ossa si poté successivamente concludere che queste appartenevano a suini macellati a due o tre anni, in età adulta. Per di più, si constatò che tra i frammenti ossi mancavano proporzionalmente svariati arti posteriori, a indicare molto probabilmente che le cosce venivano consumate in un secondo momento rispetto al resto della carcassa, previa diversa tecnica di lavorazione e di conservazione (Mipaaf, 2013).

Il 1872 può essere ricordato in Italia come l'anno in cui si sviluppò la suinicoltura moderna. Infatti, fu proprio in quell'anno che l'Istituto Sperimentale di Zootecnica di Reggio Emilia, per iniziativa del Ministero dell'Agricoltura, importò in alcune province padane i primi riproduttori Yorkshire provenienti dall'Inghilterra. Da allora l'allevamento accrebbe sempre più la sua importanza, arrivando a rappresentare uno fra i più rilevanti comparti dell'industria zootecnica italiana. Nel censimento del bestiame relativo all'anno 1908, il patrimonio suinicolo italiano ammontava addirittura a 2.507.798 capi, di cui 322.099 scrofe. Nel 1926, alcuni documenti riportano che il numero di animali allevati crebbe ulteriormente, assommando a 2.750.000, del quale 1.400.000 era concentrato in Italia settentrionale e 750.000 nell'Italia centrale (Mipaaf, 2013).

In questi primi anni del 900, fino al periodo della Prima Guerra Mondiale, i sistemi di allevamento praticati erano tradizionalmente tre:

- l'allevamento familiare, in passato più comune nella val padana, si basava sulla detenzione di un limitato numero di capi, generalmente ben accuditi e alimentati principalmente con rimanenze di cucina e ortaggi. Tali capi, primariamente razze locali, erano destinati all'autoconsumo ed in parte all'approvvigionamento delle salumerie caratteristiche della zona. Questa forma di allevamento perse con il passare del tempo la sua importanza a causa del processo di urbanizzazione;
- l'allevamento allo stato brado o semi-brado caratterizzava l'Appennino, nonché le Prealpi lombarde, venete e friulane, ove ancora oggi non mancano i querceti;
- l'allevamento industriale primeggiava già in Lombardia e in Emilia, poiché associato al caseificio per il reimpiego dei sottoprodotti della caseificazione (siero e latticello), all'industria molitoria per ottenere farinette e crusca o sfruttare la pula proveniente dalla brillatura del riso (Mipaaf, 2013).

1.3.3 Dalle razze autoctone al suino pesante

La transizione da popolazioni suine autoctone a razze selezionate più produttive, intrapresa già alla fine dell'800, fu, soprattutto inizialmente, piuttosto lenta e graduale. Ciò si attribuisce non tanto ad una difficoltà propria del settore nell'acquisire le novità emergenti, ma piuttosto al fatto che

altrettanto lento e graduale fu il progresso dei sistemi di allevamento (Mipaaf, 2013). Fintantoché brado e semi brado rappresentarono per diverse ragioni i sistemi più diffusi ed economici per l'ingrasso del suino, rusticità, attitudine al pascolo e più generalmente capacità di procacciarsi il cibo, costituirono le prerogative prioritarie ed irrinunciabili per un animale che potesse considerarsi ideale e completo (Maiorano, 2009). Tali attributi sono propri delle razze autoctone, affermatesi sul territorio fondamentale per selezione naturale. Nel periodo compreso fra le due guerre mondiali, anche a seguito della considerevole espansione degli allevamenti da latte nella valle padana, aumentò progressivamente la produzione di lattoni e magroni degli allevamenti associati ai caseifici. Gli ingrassatori prediligevano in questa fase soprattutto suini di grande mole, opportunatamente rustici, con buona propensione al siero, ai crusami e alle farine; tutte caratteristiche che si osservavano nei prodotti ottenuti dall'incrocio tra le razze locali e il verro Yorkshire - Large White. Contestualmente, a seguito del crescente fenomeno di disboscamento era gradualmente scomparso il sistema brado e semi brado per l'ingrasso dei suini, mentre si affermava in Emilia Romagna l'allevamento delle scrofe riproduttrici, necessarie agli ingrassatori per la produzione dei suinetti. In questo modo si esortò ulteriormente il già avviato processo di ibridazione suina e, conformemente alle esigenze dei sempre più diffusi sistemi industriali, si accentuò la pratica di ingrassare i suini fino al raggiungimento di pesi particolarmente elevati pari a 160-180 kg. Nonostante le moltissime preoccupazioni e le critiche che questa tipologia di approccio sollevava a causa dell'alto consumo di alimenti durante la fase finale di ingrasso per ottenere gli accrescimenti attesi, il suino pesante rappresentava comunque una risposta concreta alle richieste del mercato e alle condizioni del caseificio. Va infatti osservato che una frazione considerevole del valore nutrizionale della dieta veniva soddisfatto dal siero fresco, una risorsa abbondantemente disponibile in quanto sottoprodotto della caseificazione (Mipaaf, 2013).

In seguito a reiterati incroci, intrapresi con l'intento di ottenere esemplari più idonei all'utilizzo dei sottoprodotti caseari, le razze autoctone avevano progressivamente perso la loro importanza, fino a risultare in una popolazione che assumeva le peculiarità intrinseche del Large White. In queste circostanze e in virtù delle conoscenze più approfondite nel campo dell'alimentazione dovute allo sviluppo dell'industria mangimistica, vennero introdotti impianti zootecnici specializzati e dissociati dal caseificio. A ciò seguì un sensibile incremento del patrimonio suino italiano, in particolare al Nord dove si diffuse poi l'esercizio degli allevamenti iscritti ai libri genealogici. Con il sostegno dei centri di controllo genetico istituiti dal Ministero dell'Agricoltura nel 1960, fu avviato un diligente piano di selezione genetica delle razze Large White e Landrace. Furono così gettate le fondamenta della suinicoltura moderna, sempre orientata alla produzione di un suino pesante che presentasse le specifiche richieste dall'industria di trasformazione, allora in forte e costante espansione. Il decennio successivo al 1960, fu protagonista di un profondo rinnovamento dovuto all'integrazione nelle strutture zootecniche di significative innovazioni tecnologiche, che coinvolse in particolare le realtà dedite alla riproduzione. L'originario modello zootecnico, frammentato in nuclei di modeste entità, evolse verso la concentrazione di centinaia di animali, collocati all'interno di complessi industriali interamente automatizzati. Ad oggi, le strutture zootecniche ad elevata produttività continuano ad adeguarsi all'incessante mutamento delle richieste del mercato, le quali prestano una crescente

attenzione ai concetti di animal welfare e sostenibilità ambientale, enfatizzando la necessità di ottimizzare le condizioni di stabulazione affinché siano più idonee alle esigenze intrinseche degli animali. Attualmente, il benessere animale costituisce infatti un attributo imprescindibile in tutte le fasi della filiera suinicola. Ciò si attribuisce alla correlazione diretta esistente tra miglioramento delle condizioni allevamento suino e stato di salute del bestiame, sostenibilità del sistema e qualità dei prodotti derivati (Mipaaf, 2013)

1.4 La struttura del settore suinicolo

I 135 milioni di suini distribuito sull'intero territorio dell'Unione Europea (EUROSTAT, 2022), costituiscono la preminente classe di animali allevata in Europa, primeggiando anche sulla categoria dei bovini (circa 75 milioni di capi). Il comparto della carne suina rappresenta una fetta di proporzioni significative in termini di approvvigionamento di prodotti carnei, contribuendo da solo a poco meno della metà della produzione totale di carne nell'ambito dell'UE. In questo contesto sono la Germania, la Spagna e la Francia a emergere come i principali attori del settore, erogando oltre il cinquanta per cento del complessivo volume di carne suina prodotta nell'UE. Quasi tre quarti dei suini dell'UE sono quindi allevati principalmente in sei Stati membri: Spagna (23 %), Germania (20 %), Francia (10 %), Paesi Bassi (8 %), Polonia (7,4 %) e Danimarca (7 %), mentre l'Italia risulta settima con il 6% di capi allevati (ISMEA, 2023).

Il panorama del settore suinicolo è notevolmente eterogeneo, presentando notevoli differenze tra gli stati membri sia nelle pratiche di allevamento che nelle dimensioni degli impianti zootecnici: lo scenario varia dalle modeste attività agricole a conduzione prettamente familiare e a scopo domestico, ai vasti impianti industriali in costante espansione, il cui numero di animali segue invece l'ordine delle migliaia (ISMEA, 2023).

L'allevamento del suino, si basa su un ciclo produttivo che si articola essenzialmente in due fasi: quella riproduttiva, finalizzata alla produzione di suinetti adibiti all'ingrasso e alla rimonta (in caso di rimonta interna), e quella d'ingrasso, rivolta alla produzione dei suini destinati alla macellazione. La seconda fase alimenta il settore della carne suina, il quale rappresenta l'8,5% dell'intera produzione agricola dell'UE-27, ovvero la quota più elevata se confrontata agli altri segmenti dell'industria della carne (Granier, 2020). Nel contesto della produzione complessiva di carne dell'UE, l'industria suinicola annovera una quota del 35% (EPRS, 2020). L'Unione Europea riveste difatti l'importante ruolo di secondo colosso globale nella produzione di carni suine, posizionandosi subito dopo la Cina, mentre si impone come il principale attore nell'esportazione di carne fresca e derivati. Basti pensare che nel 2022 sono stati sottoposti a macellazione approssimativamente 236 milioni di suini e la produzione complessiva di carne ammontava a 22 milioni di tonnellate. Tuttavia, se la produzione di carne suina è in progressiva ripresa in Cina per la graduale mitigazione degli impatti della peste suina africana (PSA), è plausibile che le sfide relative all'ambiente e i considerevoli costi di produzione possano avere un impatto inverso sull'output dell'Unione Europea. Difatti, le previsioni riportano un

calo del 3% per il 2024 (ISMEA, 2023). La sostenibilità svolge quindi un ruolo sempre più importante nei mercati della carne dell'UE, sia per i produttori che per i consumatori e ciò potrebbe condurre ad una leggera contrazione del consumo pro capite di carne suina nei prossimi dieci anni (-0,5% annuo).

Per quanto concerne la suinicoltura italiana mantiene un importante peso produttivo nell'ambito del comparto agricolo (5,4%).



Figura 1: incidenza delle carni suine sulla fase agricola (elaborazione Ismea su dati Istat)

Secondo i dati forniti dall'ultimo censimento condotto dall'Anagrafe Nazionale Zootecnica, il territorio italiano ospita una popolazione di suini che supera gli 8,7 milioni, registrando un modesto incremento rispetto all'anno precedente (+0,6%). Tuttavia, stando ai dati presentati da Eurostat, nel corso del 2024 si prospetta a livello nazionale, un incremento sia della popolazione suinicola totale, nonché della quantità di scrofe (+ 25,8%). Considerando questo trend positivo, risulta quindi logico e necessario comprendere l'importanza che in questi ultimi anni si sta attribuendo alla gestione sostenibile dell'allevamento, soprattutto nella sua declinazione ambientale.

In Italia, la consistenza degli allevamenti supera le 30 mila unità, tenendo in considerazione sia gli allevamenti a ciclo aperto, ovvero riproduzione in cui si ottengono lattonzoli destinati all'ingrasso e ingrasso per la produzione di capi da macello, sia quelli a ciclo chiuso in cui si realizzano tutte le fasi produttive (Istat, 2022). Sul piano della distribuzione geografica, l'88% del patrimonio zootecnico suino si concentra nelle regioni settentrionali. Tra queste, spicca la Lombardia, quale principale regione protagonista nella produzione del suino pesante, con più della metà del patrimonio che insiste proprio entro i confini della regione. A seguire, per importanza, emergono il Piemonte e l'Emilia-Romagna, che annoverano quote rispettivamente del 15% e del 12%. Nell'Italia centrale e meridionale invece, si concentra una modesta frazione dell'offerta nazionale complessiva, poco superiore al 12% e il cui contributo maggiormente rilevante è fornito da Umbria, Sardegna e Marche. Lombardia ed Emilia-Romagna guidano la classifica per il numero di capi macellati, assicurandosi

rispettivamente il 36% e il 35% del totale nazionale, seguite dal Piemonte, che contribuisce con circa il 7% (Ismea, 2023).

La struttura produttiva suinicola nazionale si distingue per il suo notevole grado di specializzazione nell'attività di ingrasso, in particolare di capi che raggiungono i 160-170 Kg: il 36% degli impianti si conferma esclusivamente al ciclo aperto, focalizzandosi appunto sull'ingrasso, mentre una buona metà degli allevamenti opera secondo il modello a ciclo chiuso, assicurando così un controllo completo dell'intero processo produttivo interno.

L'industria di trasformazione italiana è fortemente indirizzata verso la creazione di salumi riconosciuti con la denominazione DOP e IGP. Sul territorio, sono presenti ben 42 Indicazioni Geografiche per i prodotti carnei di derivazione suina, omogeneamente distribuiti in 21 DOP e 21 IGP. Il comparto dei salumi certificati rappresenta approssimativamente un quarto del valore complessivo generato dai prodotti riconosciuti con l'Indicazione Geografica a livello nazionale, escludendo il settore vitivinicolo. Tale settore, con un volume produttivo superiore a 200mila tonnellate, realizza un introito di 1,87 miliardi di euro in fase di produzione e di 4,85 miliardi di euro in fase di consumo. In questo contesto le regioni Emilia Romagna, Friuli Venezia Giulia e Lombardia sono le massime aree produttive, alle quali si conferiscono i primi tre prodotti che presentano il più grande fatturato: Prosciutto di Parma DOP, Prosciutto San Daniele DOP e Mortadella Bologna IGP.

Le aziende suinicole italiane devono comunque competere con produttori di carne suina di altri paesi, sia all'interno dell'Unione Europea che a livello globale. La concorrenza può riguardare i prezzi, la qualità del prodotto e la capacità di adattarsi alle richieste del mercato. Tuttavia, l'Italia rimane un importante esportatore che si distingue dalle altre grandi forze produttrici in particolare per l'allevamento del suino pesante, che rappresenta un unicum a livello mondiale e dal quale originano i tagli per la trasformazione in prodotti tipici, soprattutto insaccati.

La competitività e la sostenibilità delle produzioni tipiche, che in Italia da sempre trainano l'intero settore, richiede carni con precise caratteristiche qualitative. La carne di suino pesante italiano è apprezzata sia a livello nazionale che internazionale per la sua qualità e le sue caratteristiche organolettiche. Gli allevatori e i produttori italiani hanno fatto grandi sforzi per mantenere l'autenticità e la superiorità di queste produzioni tipiche, contribuendo alla promozione della cultura enogastronomica nazionale in tutto il mondo. La sfida attuale di molte aziende suinicole italiane è attualmente quella di adottare tecnologie avanzate per migliorare l'efficienza produttiva, il benessere degli animali e più di tutto ridurre l'impatto ambientale. Come in molti altri settori anche questo comparto sta difatti affrontando le varie responsabilità legate alla sostenibilità ambientale promuovendo pratiche agricole sostenibili.

1.5 Il suino pesante italiano

La produzione di suino pesante italiano è essenzialmente orientata alla fornitura di cosce per ottenere prosciutti crudi a denominazione di origine protetta, quali Parma e San Daniele. Per

ottenere una produzione di così alta qualità è necessario l'impiego di carne con un'eccellente predisposizione alla salatura e alla stagionatura. In generale, tale inclinazione può essere meglio descritta come l'attitudine delle cosce a conseguire elevate performance tecnologiche ed esibire caratteristiche sensoriali ideali al termine di un processo di trasformazione che si protrae per almeno 12 mesi (Nanni Costa, 1994). Per ottenere carni con questi requisiti, i programmi di miglioramento genetico, le tecniche di allevamento e di alimentazione dei suini pesanti si sono necessariamente evoluti da un approccio più empirico a uno più scientifico. Infatti, per i prodotti stagionati e salati interi, la qualità iniziale delle materie prime è di primaria importanza, in quanto la tecnologia di produzione (basata sulla semplice aggiunta di sale e sul controllo della temperatura e dell'umidità ambientale) non consente in alcun modo la correzione di gravi mancanze o difetti all'origine. La rilevanza della qualità della materia prima è sottolineata dal fatto che i Consorzi di tutela dei prosciutti di Parma e San Daniele non solo hanno indicato le caratteristiche richieste per la coscia fresca, L'inequivocabile peso attribuito alla qualità intrinseca della materia prima emerge dalla circostanza in cui i Consorzi di tutela dei prosciutti di Parma e San Daniele non si sono limitati a delineare unicamente i prerequisiti necessari per la coscia fresca, bensì hanno definito anche le disposizioni relative ai genotipi ammessi (ovvero razze e incroci), all'età e al peso ideali al momento della macellazione, e alle formulazioni di mangime ammissibili.

Pertanto, per ottenere cosce con il peso idoneo e le qualità desiderate, il peso alla macellazione deve essere molto elevato di circa 160 kg, ovvero di gran lunga maggiore rispetto al suino leggero destinato alla produzione di tagli freschi. Il suino pesante italiano si caratterizza proprio per la sua taglia medio-grande e il corpo muscoloso e ben sviluppato. Le femmine adulte possono arrivare a pesare dai 160 ai 220 kg, mentre i maschi possono raggiungere fino ai 200-300 kg. Il grado di maturità e l'età del suino sono generalmente associati al peso vivo. La selezione e il miglioramento delle tecniche di alimentazione e allevamento hanno però aumentato significativamente il tasso di crescita dei moderni tipi genetici. Di conseguenza, la relazione tra maturità e peso è più debole. Per questo i Consorzi hanno empiricamente introdotto un limite all'età di macellazione di almeno 9 mesi. Questa condizione comporta un'alimentazione ristretta e cicli di ingrasso più lunghi rispetto ai sistemi di produzione adottati in altri paesi europei. L'avanzare dell'età unitamente all'aumento del peso corporeo e della deposizione di grasso influenzano negativamente il rapporto di conversione del mangime (Malagutti, 2012). Tutto ciò è da tenere in forte considerazione quando si valutano gli aspetti legati alla sostenibilità dell'allevamento del suino pesante, essendo questo un aspetto che concorre a determinare, seppur in modo indiretto, l'impatto ambientale della produzione di carne suina.

1.5.1 Il programma di selezione

Per la produzione del suino pesante italiano, i Consorzi di tutela di due importanti prodotti come Parma e San Daniele ammettono solo alcuni soggetti di razza pura, oppure ibridi ottenuti dall'incrocio di alcune specifiche razze (Russo, 1995).

Come razze pure possono essere impiegati solamente individui di razza Large White italiana e Landrace italiana. Sono inoltre consentiti gli incroci con la razza italiana Duroc. Per quanto concerne la produzione di suini ibridi, possono essere utilizzati soggetti della stessa razza provenienti da altri paesi o soggetti di altre razze ad esempio autoctone, purché ottenuti da programmi di selezione aventi finalità non in contrasto con gli obiettivi della selezione italiana. Dal confronto di razze diverse allevate nelle medesime condizioni, sono emerse notevoli differenze nel calo peso di stagionatura, confermando l'inadeguatezza di altre razze come Pietrain e Landrace Belga per la produzione del prosciutto. La preminente perdita di peso osservata nei prosciutti stagionati ottenuti da queste razze può essere attribuita alla maggiore percentuale di carne magra e all'elevata frequenza del gene di suscettibilità all'alotano (Russo, 1995). Nel complesso l'effetto dei tipi genetici sulla qualità dei prosciutti può essere spiegato, almeno in parte, dall'assenza del gene alotano (con particolare riferimento alla sensibilità agli stress) e dal diverso grado di adiposità della carcassa delle diverse razze. Tant'è vero che ad un maggior contenuto di carne magra sulla carcassa corrispondono una maggiore perdita di peso e un deterioramento delle caratteristiche sensoriali del prosciutto crudo. Il programma di allevamento italiano si basa dunque principalmente sulla selezione delle razze Large White, Landrace, Duroc e sul loro incrocio. Lo schema di selezione adottato in Italia persegue gli stessi obiettivi degli altri paesi europei (efficienza riproduttiva, velocità di accrescimento, efficienza alimentare e composizione della carcassa), ma con particolare attenzione alle implicazioni sulla qualità della carne e ai requisiti delle produzioni DOP. Infatti, contrariamente ad altri paesi che attraverso gli incroci tentano di sfruttare l'aspetto positivo dell'allele per la sensibilità all'alotano, l'obiettivo della selezione italiana prevede l'eliminazione di tale gene, poiché correlato a carni di colore più chiaro, valori di pH più bassi e minore capacità di ritenzione idrica (Russo et al., 1989); tutte condizioni che comportano gravi ripercussioni sulle caratteristiche tecnologiche delle carni destinate alla trasformazione. Un altro importante obiettivo che contraddistingue la selezione del suino pesante è di garantire uno spessore del grasso dorsale sufficiente a impedire che si verifichi un eccessivo e incontrollato calo di peso alla stagionatura e una perdita delle caratteristiche organolettiche del prodotto. Ciò è necessario al fine di migliorare l'attitudine della carne alla salatura e alla stagionatura. Anche il grasso intramuscolare visibile (GIV) è un altro originale criterio di selezione messo a punto ed utilizzato dall'Associazione Italiana Allevatori Suini (ANAS) per ridurre, nella razza Duroc, la frequenza del cosiddetto difetto di "grassinatura" dovuto ad un'eccessiva presenza di grasso inter ed intramuscolare (Ufficio Tecnico ANAS, 2003).

Il miglioramento genetico del suino pesante italiano oltre a potenziare i caratteri riproduttivi e la longevità, deve perciò principalmente garantire la qualità della materia destinata alla trasformazione e possibilmente ottimizzare le capacità di accrescimento e di efficienza di conversione degli alimenti. Trattandosi di animali che raggiungono pesi particolarmente elevati l'alimentazione svolge un ruolo chiave per una gestione efficiente dell'allevamento e delle rese. Per i soggetti tradizionali utilizzati nella produzione del suino pesante italiano, quando una dieta di base fornisce adeguate quantità di proteine e micronutrienti, è possibile modularne l'accrescimento, il contenuto magro della carcassa e lo spessore del grasso dorsale, regolando la quantità di energia aggiuntiva. I fabbisogni proteici e minerali variano infatti considerevolmente in funzione del genotipo e del sesso ma soprattutto della

fase di accrescimento. Un apporto specifico, corretto e bilanciato non solo di proteine ma anche di Ca e P sono fondamentali per massimizzare le prestazioni in vivo e la mineralizzazione ossea, e quindi garantire il sostegno di una mole corporea così importante e che raramente viene raggiunta in altri suini migliorati a livello europeo. Inoltre, un corretto approccio alla formulazione della dieta unita al perfezionamento dell'ICA (indice di conversione alimentare) può risultare cruciale per ridurre l'escrezione di azoto e l'impatto ambientale a parità di output.

Con l'avanzare degli anni, le discrepanze fenotipiche e genetiche relative alle tre popolazioni di razza pura scrupolosamente selezionate dal LG italiano per il suino pesante, in confronto alle stesse popolazioni selezionate però negli altri paesi europei, sono divenute sempre più marcate. La creazione di razze "italiane" aventi caratteristiche nettamente distinte rispetto ai programmi realizzati in altri paesi, impone quindi la necessità di trattare questo animale come un caso unico e a sé stante.

2. L'IMPATTO AMBIENTALE ASSOCIATO ALL'ALLEVAMENTO SUINO

Nella maggioranza dei paesi europei, grazie alle strategie di globalizzazione e all'importazione di mangimi provenienti da diverse parti del mondo, è emersa, dalla fine del ventesimo secolo, una profonda tendenza all'intensificazione dell'industria suinicola. Al contempo, l'evoluzione dell'allevamento suino ha determinato una graduale centralizzazione e concentrazione delle attività produttive, processo questo che si è tradotto in una significativa diminuzione del numero di aziende zootecniche dedite alla suinicoltura e da un notevole incremento delle dimensioni medie delle imprese operanti in questo settore.

Dal punto di vista ambientale, le principali criticità connesse all'allevamento intensivo dei suini derivano proprio dall'estrema aggregazione di animali all'interno di aree limitate. Ciò ha comportato un surplus di letame e una seria preoccupazione circa l'effetto delle emissioni di ammoniaca (NH_3) sull'acidificazione ambientale, sull'arricchimento di azoto del suolo e sull'inquinamento delle acque sotterranee e superficiali ma anche sul benessere degli animali e talvolta sulla salute degli operatori (van der Peet-Schwering, 2003). Tra tutti i gas emessi in questo settore, l'ammoniaca sembra infatti creare i maggiori problemi (Fangmeier et al. 1994) proprio a causa della vastità dei suoi effetti dannosi sull'ambiente.

La suinicoltura è responsabile di circa il 14% delle emissioni totali di ammoniaca (figura 2) originate dai sistemi di produzione animale in Italia (ISPRA, 2020). Tale circostanza, essendo riscontrabile in modo analogo anche in altri Stati membri dell'Unione Europea, ha generato l'impulso per l'emanazione di normative volte a mitigare le emissioni di ammoniaca generate dalle attività zootecniche. Il governo italiano, in conformità con quanto stabilito dalla Direttiva NEC (National Emission Ceiling datata 14/12/2016) relativa ai limiti nazionali di emissione, ha fissato l'obiettivo di raggiungere una riduzione delle emissioni di ammoniaca in agricoltura (figura 3) del 5% per ogni anno dal 2020 al 2029 (come decretato dal rinnovamento del Protocollo di Göteborg del 2012) e del 16% a partire dal 2030, in confronto alle emissioni del 2005 (ISPRA, 2010). Il settore agricoltura è difatti imputabile dell'emissione in atmosfera di 362,18 kt di NH_3 , pari cioè al 94,3% del totale nazionale (ISPRA, 2010).

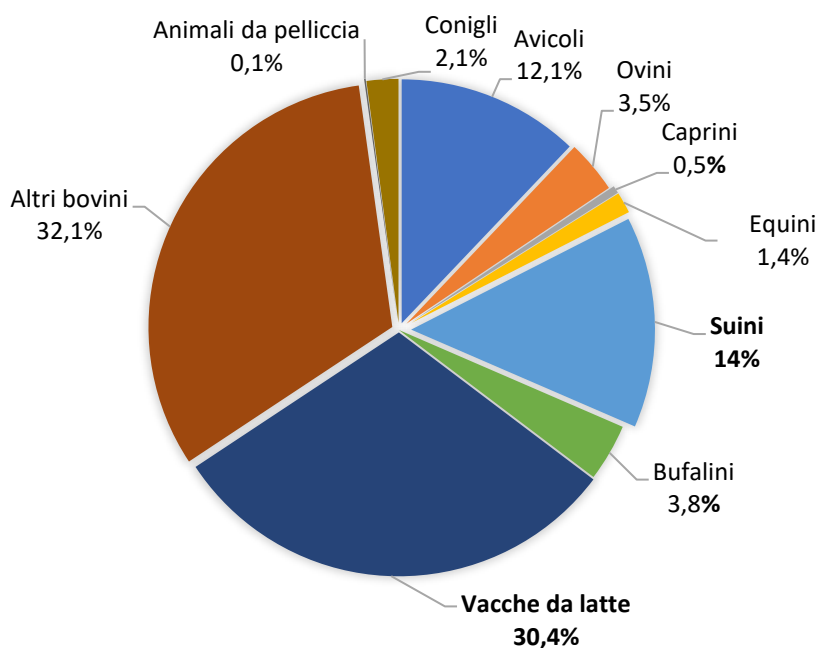


Figura 2: Peso delle emissioni di NH_3 degli allevamenti (83%) – contributo per categoria animale (fonte ISPRA)

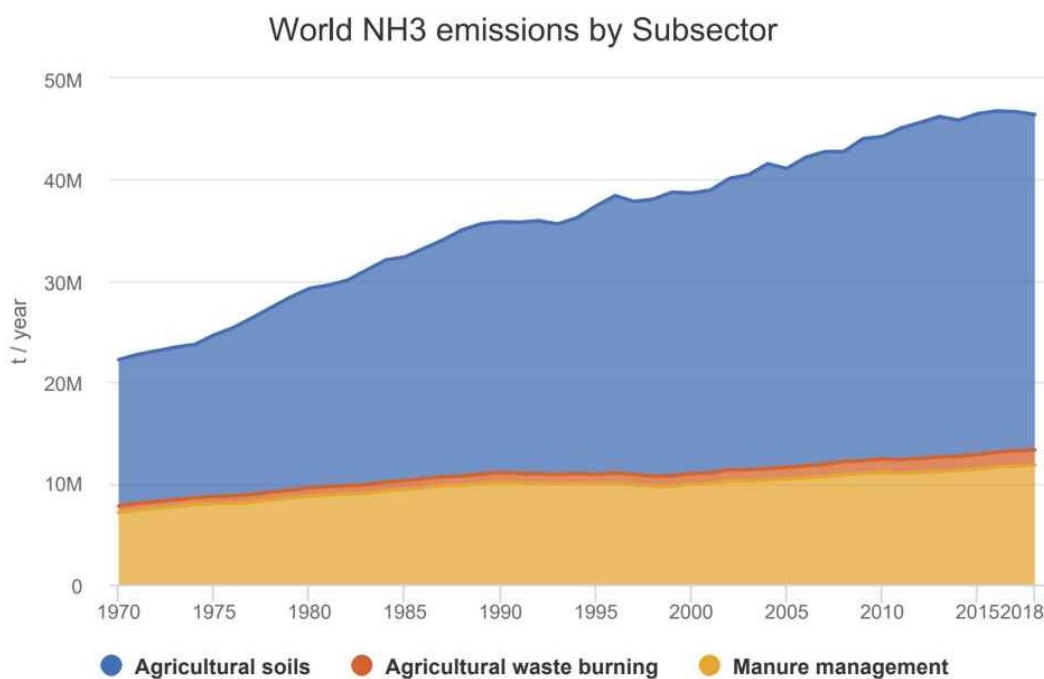


Figura 3: Trend delle emissioni di NH_3 in agricoltura (fonte: Emissions Database for Global Atmospheric Research)

Le emissioni di NH_3 associate direttamente all'allevamento suino originano il 47% dagli edifici, il 25% dallo stoccaggio del letame mentre il 28% viene rilasciato durante e dopo lo spargimento del liquame

sul terreno (Botermans, 2010). L'ammoniaca è infatti un prodotto di conversione dei composti azotati presenti nelle deiezioni animali che volatilizza a contatto con l'aria. Per questa ragione le attività agricole sono la fonte principale di ammoniaca e le emissioni in Europa sono aumentate con l'intensificazione dell'allevamento. Per poter attuare una conversione efficiente delle produzioni animali nella loro declinazione sostenibile, diventa quindi essenziale intraprendere interventi mirati volti alla riduzione di tali emissioni in specifiche fasi del ciclo produttivo (Aarnik, 1997).

È pertanto opportuno considerare che, nell'ambito degli allevamenti, le strategie atte a mitigare le emissioni possono essere distinte in due principali linee d'azione, definibili come misure di riduzione "a monte", le quali mirano essenzialmente a limitare la quantità di escreto per unità di prodotto finito, e come interventi di contenimento "a valle", che si focalizzano invece su come arginare le emissioni sull'escreto una volta generato. È poi possibile suddividere le suddette strategie nelle cinque fasi del ciclo di gestione dell'allevamento: le azioni intraprese "a monte" si incentrano sulla gestione zootecnica e sugli interventi relativi all'alimentazione mentre le azioni "a valle" interessano i ricoveri, i sistemi di stoccaggio e trattamento dei reflui, nonché le tecniche di spandimento degli stessi (Mipaaf, 2015). Fondamentalmente si tratta di soluzioni che nella maggior parte dei casi si basano sulla gestione dell'azoto. Ciò dipende dalla natura del composto incriminato. L'ammoniaca è difatti costituita da un atomo di azoto e tre di idrogeno (NH_3) ed i suoi effetti dannosi si associano alle sue caratteristiche chimiche. Si tratta cioè di un composto alcalino molto solubile in acqua che a temperatura e pressione normali si trova in fase gassosa ed è più leggera dell'aria, motivo per il quale in seguito alla sua formazione volatilizza (Sigurdarson, 2018). Il rilascio di questa dalla fonte è un processo comunque governato da svariati fattori, tra i quali la concentrazione dell'urea, il pH, la temperatura e la velocità dell'aria. Dopo essere stata rilasciata dalla propria sorgente di emissione, l'ammoniaca si disperde quindi verticalmente e orizzontalmente nell'atmosfera (Sigurdarson, 2018). In seguito, la deposizione secca e umida avverrà principalmente in prossimità delle sorgenti, tuttavia, gli aerosol di ammonio tendono a depositarsi a distanze maggiori lontano dall'origine delle emissioni a causa della loro ridotta velocità di deposizione e della conseguente maggiore persistenza atmosferica (Lenaer et al., 1996). Infatti, l' NH_3 in atmosfera persiste per tempi relativamente brevi con una durata di 1-5 giorni e se reagisce chimicamente con altri prodotti (acido solforico e nitrico) forma particelle fini (Kirchner, 2005). Quando viene convertita in aerosol di NH_4^+ , la durata aumenta invece fino ad anche 15 giorni (Sutton, 1993).

L'ammoniaca negli allevamenti dei suini si forma principalmente dalla decomposizione dell'urea ($\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$) presente nelle urine, mentre solo una piccola parte deriva dalla degradazione anaerobica delle proteine nelle feci (Aarnik, 1997) che rivestono più che altro un ruolo di tipo indiretto. Ciò è spiegato dal fatto che l'eccesso di azoto metabolico risulta tossico per l'organismo e per questo viene convertito in urea che successivamente viene perlopiù escreta attraverso l'urina. Nelle feci, invece, si ritrovano quantitativi molto modesti di azoto nella forma ureica ma una popolazione batterica numerosa produttrice dell'ureasi (figura 4).

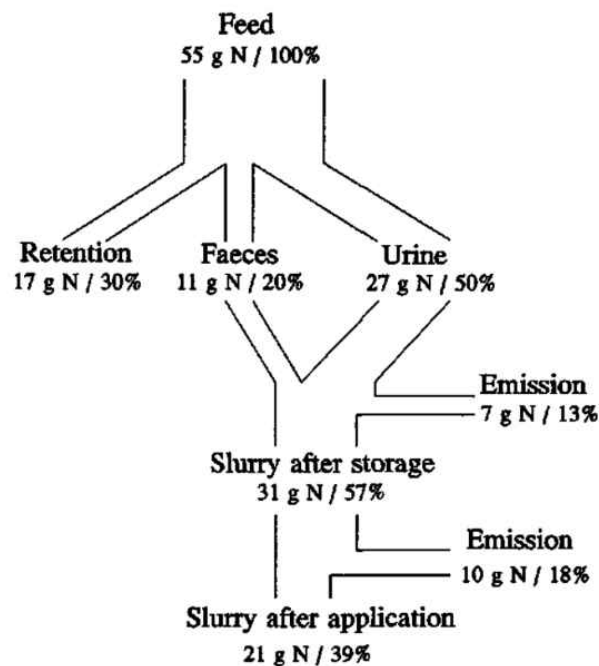
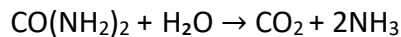
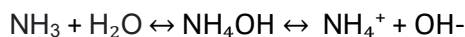


Figura 4: Ciclo dell'azoto per i suini da ingrasso (fonte: Aarnik, 1997)

La conversione in ammoniaca inizia dunque solo nel momento in cui l'urina mescolandosi con le feci entra a contatto con l'enzima che catalizza la reazione in cui una molecola di urea viene idrolizzata per formare due molecole di ammoniaca (Barmore et al., 2023):



Il tasso di emissione di ammoniaca dal liquame dipende poi da diversi fattori, tra cui il carattere acido o basico delle soluzioni. In soluzione, l'ammoniaca è in equilibrio con la sua forma protonata, lo ione ammonio (NH_4^+), che non è volatile (Sommer et al., 2006). Il punto di equilibrio tra NH_3 e NH_4^+ in questo contesto dipende appunto dal pH della soluzione (Aanker, 1997). Ovvero a pH neutro o basico ($\text{pH} > 7$), si forma NH_3 che viene persa per volatilizzazione (circa il 50% a pH 9,3) mentre a pH acido ($\text{pH} < 7$), la maggior parte dell' NH_3 verrà convertita in ammonio cationico (Alderighi, 1999) che non evapora (circa il 99% a pH 5,5). Ciò comporta che bassi valori di pH riducano la produzione di ammoniaca:



l'ammoniaca una volta emessa e successivamente depositata può essere convertita in nitrito (NO_2^-) e poi nitrato (NO_3^-) attraverso il processo di nitrificazione (operato ad esempio da *Nitrosomonas* spp. e *Nitrosococcus* spp.) oppure essere assorbita e assimilata da piante o microrganismi (Sharma e Ahlert 1977). Tuttavia, entrambi i processi comportano il rilascio di protoni, che contribuiscono

all'abbassamento del pH dell'ambiente locale (Pearson e Stewart 1993; Vitousek et al. 1997). A sua volta, tale acidificazione conduce al declino della biodiversità vegetale a causa dei danni tossici diretti alle foglie e all'alterazione della suscettibilità delle piante al gelo, alla siccità e agli agenti patogeni (Breemen et al. 1982; Matzner, 1992) e contribuisce inoltre all'inquinamento delle acque sotterranee e superficiali (Soveri, 1992). Elevati apporti di azoto ammoniacale possono altresì ridurre la disponibilità di altri minerali essenziali per la vegetazione, portando frequentemente a carenze di elementi come il potassio o il magnesio (Roelofs e Houdijk, 1991). Nell'atmosfera invece, l'ammoniaca può reagire con l'acido solforico o l'acido nitrico per formare rispettivamente solfato di ammonio e nitrato di ammonio, che costituiscono un gran parte delle particelle fini nell'aria note come PM 2,5 (particelle con un diametro di 2,5 µm o inferiore). Il particolato ha effetti estremamente deleteri sulla salute umana (e non solo). Questi è infatti innegabilmente responsabile dell'instaurarsi di disfunzioni prettamente connesse all'ambito cardiovascolare e respiratorio, contribuisce cioè all'insorgenza e all'aggravamento di svariate patologie croniche, tra cui si annoverano attacchi cardiaci, affezioni cerebrovascolari e la malattia polmonare cronica ostruttiva (Anderson et al., 2003). In generale le preoccupazioni per l'impatto derivante dalle emissioni di ammoniaca proveniente dall'agricoltura riguardano, di conseguenza, principalmente la biodiversità dovuto all'effetto deleterio dell'accumulo di azoto sulla funzione e sulla composizione degli ecosistemi all'interno degli habitat colpiti (Guthrie, 2018). Gli impatti sugli ecosistemi avvengono più esattamente attraverso quattro meccanismi fondamentali:

- eutrofizzazione (accumulo di nutrienti, come azoto e fosforo, nell'ecosistema che coinvolge il suolo e l'acqua),
- acidificazione (accumulo di composti acidi nel suolo e nell'acqua che ne determina un abbassamento del pH),
- tossicità diretta (danni associati a corrosione e deterioramento)
- effetti indiretti (alterazione degli ecosistemi e della funzionalità degli organismi viventi).

Fondamentalmente il pesante onere ambientale può essere suddiviso in carico minerale nel suolo (causato dall'applicazione sulle superfici agricole di letame contenente un eccesso di nutrienti rispetto il reale fabbisogno) e carico gassoso nell'aria.

Poiché le perdite di nutrienti che derivano dalla gestione degli effluenti risultano essere in realtà inevitabili (Tamminga, 2003), emerge chiaramente che siano la nutrizione e il controllo del pH i fattori chiave attraverso i quali governare l'eccesso di escreto e intervenire nella riduzione dell'inquinamento ambientale causato dalle emissioni di ammoniaca associate all'allevamento del suino.

È ad ogni modo necessario considerare che l'Italia si discosta nettamente dalla maggior parte degli altri paesi europei. Come già affermato in precedenza infatti a livello nazionale la stragrande maggioranza dei suini viene macellata ad un peso corporeo di 150-170 kg (9 mesi di età), ottenendo carcasse di 125-140 kg che vengono impiegate per rifornire l'industria dei salumi (Sandrucci, 2010). La produzione specializzata di suini pesanti emetterà pertanto quantità relativamente più elevate di N rispetto alla produzione di suini leggeri. Nel secondo caso gli animali vengono difatti macellati a

pesi decisamente più contenuti di circa 90-110 kg (K. Guo, 2012) e quindi anche a età inferiori, in cui l'efficienza alimentare e perciò anche la capacità di sfruttare nutrienti come l'azoto, è generalmente più elevata.

ciononostante, è importante sottolineare che anche a livello nazionale l'impatto ambientale dell'allevamento suino è correlato prioritariamente all'elevatissima concentrazione di capi che interessa alcune specifiche aree del Paese (nord Italia specialmente), che per di più coincidono con le stesse regioni tra le più vocate all'allevamento bovino da latte e da carne. È dunque evidente che la problematica non possa essere semplificata ad una mera questione di natura metabolica, quanto piuttosto ad un eccesso di reflui zootecnici osservabile in alcune aree circoscritte, in cui la quantità di materiale escreto riveste ad ogni modo un ruolo di cruciale importanza. È infatti importante precisare che nel suino, in linea di massima, l'efficienza di utilizzazione dei nutrienti, e dell'azoto in particolare, rimane comunque più elevata rispetto ad altre specie da carne. Tant'è che i valori di emissione dell'allevamento suinicolo sono considerati intermedi: Misselbrook et al. (2000) riportano ad esempio fattori di emissione giornalieri dei ricoveri pari a 34,3, 79,2 g NH₃ per capo rispettivamente per i bovini da latte/da carne e i suini all'ingrasso, mentre 146,4, 148,8 g di N-NH₃ per unità di peso vivo all'anno rispettivamente per le galline ovaiole e i polli da carne.

2.1 Emissioni di ammoniaca: la situazione in Emilia Romagna

Per comprendere in maniera esaustiva la necessità di attuare misure di mitigazione delle emissioni di ammoniaca, risulta innanzitutto utile analizzare il contesto ambientale in cui si iscrive l'attuale emergenza.

Il Bacino Padano è caratterizzato da peculiari "conformazioni orografiche" in cui le Alpi e l'Appennino lo circondano chiudendolo sui tre lati, ovvero nord, est e ovest, mentre il suo unico varco si apre sul Mare Adriatico. Inoltre, presenta particolari "caratteri meteorologici" come una bassa velocità media del vento e l'insorgere frequente di fenomeni di inversione termica (ARPAE, 2022). Questo contesto si configura, di fatto, come un serbatoio in cui gli agenti inquinanti si accumulano senza però disperdersi, portando talvolta al superamento dei limiti imposti dalle direttive europee e dalle linee guida internazionali stabilite dall'OMS.

Per di più, L'Emilia Romagna spicca come una tra le regioni con la più elevata intensificazione colturale e le maggiori concentrazioni di allevamenti zootecnici dopo la Lombardia, che da sola detiene oltretutto il 50% del patrimonio suinicolo nazionale. La componente pianeggiante della regione si contraddistingue per i suoli estremamente fertili ed è largamente sfruttata per l'agricoltura intensiva e l'allevamento praticato su scala, comunemente associato a processi industriali. Quest'ultima attività trova il suo epicentro nell'area di Modena e Reggio Emilia per quanto concerne il settore bovino e suinicolo, mentre l'avicoltura trova la concentrazione più significativa nell'area di Forlì-Cesena (Regione Emilia Romagna, 2022). Nonostante le attività zootecniche e agricole intensive rappresentino un pilastro dell'attività economica regionale, come già precedentemente riportato,

contribuiscono fortemente all'inquinamento atmosferico attraverso l'emissione di rilevanti quantità di ammoniaca e altri gas a effetto serra.

Proprio in virtù di tali considerazioni, assume un'importanza cruciale l'attuazione di un monitoraggio sistematico degli inquinanti e l'adozione di strategie di mitigazione per poter valutare e migliorare la qualità dell'aria in Emilia-Romagna.

A tale fine un contributo prezioso è indubbiamente fornito dall'Inventario delle Emissioni dell'Emilia-Romagna, il quale rappresenta una raccolta organizzata di dati concernenti la quantità di agenti inquinanti immessi nell'atmosfera in seguito a processi di origine antropica e naturale. Le stime emissive, elaborate e redatte con precisione dall'Agenzia Regionale per la Prevenzione, l'Ambiente e l'Energia dell'Emilia Romagna (ARPAE), vengono organizzate in base alla tipologia di inquinante, al genere di attività, all'unità territoriale di riferimento e al periodo temporale di interesse. (ARPAE, 2019).

Il rapporto PAIR 2020 dell'Emilia-Romagna (Relazione di Monitoraggio 7.7.1 dal Piano Aria Integrato Regionale) basato su dati ARPAE, documenta che le attività agricole contribuiscono alla quasi totalità delle emissioni di ammoniaca, oltre il 98%, e contribuiscono in modo decisivo anche alle emissioni di metano (oltre il 45%) e di protossido d'azoto (oltre l'85%). I maggiori responsabili delle emissioni di ammoniaca sono proprio gli allevamenti (72%), che risultano pertanto "obiettivo primario di intervento". È importante infatti rimarcare che l'ammoniaca oltre ad essere il principale precursore in atmosfera delle polveri sottili "secondarie" (cioè particolato che si forma in seguito a reazioni a partire da altre sostanze) è anche un agente tossico con potere corrosivo.

Secondo i dati più recenti riportati dall'ARPAE (figura 5 e tabella 2), le 3 province che registrano le emissioni più rilevanti di ammoniaca risultano essere Reggio Emilia, Parma e Modena seguite da Piacenza e Forlì-Cesena, mentre le categorie animali con la ripartizione percentuale maggiore dell'emissioni di NH₃ sono quella del suino e del bovino. Ciò sarebbe in linea con quanto precedentemente detto rispetto alla distribuzione delle aziende zootecniche e dell'agricoltura intensiva sul territorio e con quanto indicato dall'ISPRA sulle ripartizioni per categoria animale rispetto i dati nazioni (figura 2).

Stima emissioni di macroinquinanti dovute alla zootecnia				
PTS (t)*	PM₁₀ (t)	PM_{2,5} (t)	NH₃ (t)	COVnm (t)
928	554	251	33462	58

Tabella 1: stima delle emissioni di macroinquinanti dovute alla zootecnia (fonte INEMAR)

* Polveri totali sospese (PTS)

Composti organici volatili ad esclusione del metano (COVnm)

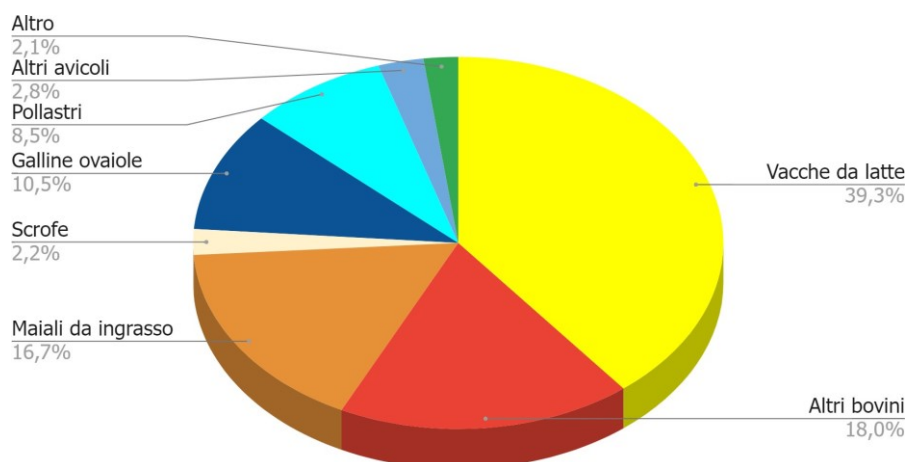


Figura 5: Ripartizione percentuale dell'emissione di NH₃ per le diverse specie allevate (fonte: INEMAR, Inventario regionale delle emissioni in atmosfera 2019,

Stime provinciali associate all'agricoltura:

	NO _x (t)	PTS (t)	PM ₁₀ (t)	PM _{2,5} (t)	SO ₂ (t)	CO (t)	NH ₃ (t)	COVnm (t)
Piacenza	110	71	34	16	1	50	5708	4323
Parma	20	83	38	16	1	46	7041	3976
Reggio Emilia	15	94	41	15	1	31	7186	3469
Modena	60	108	51	24	2	91	6213	4104
Bologna	134	97	56	35	3	157	4166	5550
Ferrara	109	109	64	40	4	199	3349	9265
Ravenna	140	108	66	35	2	86	4280	3124
Forlì - Cesena	14	384	262	131	1	35	5336	2142
Rimini	8	33	21	11	0	15	702	829
totali	608	1086	632	324	14	709	43982	36781

Tabella 2: fonte INEMAR, Inventario regionale delle emissioni in atmosfera 2019, ARPAE Emilia-Romagna

In sintesi, i dati sottolineano con chiarezza la necessità impellente di intraprendere misure decisive nel settore agricolo al fine di ridurre in maniera significativa le emissioni di ammoniaca.

2.2 La nutrizione azotata del suino pesante

La nutrizione costituisce da sempre un elemento imprescindibile per assicurare il massimo rendimento produttivo e la compatibilità ambientale del settore zootecnico. In particolare, la gestione dell'apporto di azoto nella dieta si erge come l'elemento centrale attorno al quale si sviluppano, specialmente nel suino pesante, le prestazioni zootecniche, la qualità delle carni, il benessere degli animali e l'impatto ambientale (ANAS, 2022). Ad esempio, per i soggetti tradizionali utilizzati nella produzione del suino pesante italiano, quando una dieta base fornisce adeguate quantità di proteine e altri micronutrienti, è possibile modulare la crescita, il contenuto della carcassa e lo spessore del lardo dorsale (Mordenti et al., 2016). È poi rilevante dal punto di vista nutrizionale ed ambientale, la correlazione esistente tra tenore proteico degli alimenti e la quantità di azoto liberata nell'ambiente (ANAS, 2019).

Nel campo della nutrizione suina, i metodi di ottimizzazione matematica e la programmazione lineare, sono state utilizzate per svariati decenni principalmente per la formulazione a basso costo. Gli algoritmi di ottimizzazione determinavano cioè le proporzioni relative di ingredienti in grado di comporre una dieta ottimale, rispetto al fabbisogno nutrizionale e a una serie di altri vincoli imposti dal modello come il tasso di ingestione massimo e minimo al minor costo possibile (Lautrou et al., 2022). Negli ultimi anni, l'attenzione degli studi di ottimizzazione della dieta si è invece spostata dalla mera considerazione dei costi verso una attenta valutazione dell'impronta ambientale, viste le pressanti sfide che la società deve affrontare oggi, tra cui i cambiamenti climatici e l'esaurimento delle risorse. Per raggiungere questo obiettivo, è necessario soddisfare 3 elementi fondamentali: una stima precisa dei fabbisogni nutrizionali degli animali, un'attenta stima del valore degli ingredienti ed una somministrazione efficiente dell'alimento all'animale (Lautrou et al, 2022).

La composizione della dieta dovrebbe essere difatti ben bilanciata rispetto alle esigenze dei suini. Nella formulazione della razione è necessario seguire precise linee guida atte alla buona preparazione dell'alimento, così che possa essere effettivamente finalizzata all'ottimizzazione dell'utilizzo dei nutrienti. Questo implica, ad esempio, la disponibilità di informazioni esaustive riguardo agli ingredienti impiegati e l'osservanza di elevati standard nella procedura di preparazione dell'alimento (Aarnik, 2007). Il surriscaldamento deve essere ad esempio diligentemente evitato poiché riduce la digeribilità delle proteine fino al 50% (Whittemore, 1998). Similmente, la macinazione in particelle di dimensioni eccessivamente grandi, così come la presenza di fattori antinutrizionali, implicherebbero una compromissione della digeribilità dei nutrienti (Whittemore, 1998) e quindi una maggiore escrezione degli stessi. Indubbiamente le diete dovrebbero essere elaborate in base alla disponibilità dei nutrienti anziché sul loro contenuto. I suini non richiedono o utilizzano direttamente l'azoto, ma gli amminoacidi (AA) che lo contengono. In tal senso, adottare come parametro la digeribilità ileale (data dalla differenza tra la quantità di amminoacidi ingeriti e

la quantità di amminoacidi recuperati dalle digesta nell'ileo) invece della digeribilità fecale (data dall'azoto escreto rispetto quello ingerito) sarebbe l'approccio più adeguato (Lautrou et al., 2022).

Gli amminoacidi, ovvero i componenti fondamentali delle proteine, sono costituiti da un gruppo amminico (NH_2), un gruppo carbossilico ($-\text{COOH}$) ed una componente variabile rappresentata dalla catena carboniosa laterale che è specifica per ciascun amminoacido. Le proteine sono per l'appunto polimeri di amminoacidi, ovvero catene di varia lunghezza, all'interno delle quali gli elementi costitutivi si uniscono attraverso legami peptidici formati tra il gruppo carbossilico di un amminoacido e il gruppo amminico di un altro (Lenis et al., 1999).

Alcuni amminoacidi (lisina, metionina, cistina, treonina, triptofano, isoleucina, leucina, fenilalanina, valina, istidina) sono detti essenziali, questo perché la loro catena carboniosa non può essere direttamente sintetizzata dall'organismo del suino e deve essere pertanto introdotta attraverso l'alimentazione (ANAS, 2021). Al contrario esistono altri amminoacidi (alanina, glicina, serina, prolina, glutamina, acido glutammico, acido aspartico e asparagina) classificati come non essenziali in quanto presentano una catena carboniosa che può essere sintetizzata direttamente dall'organismo dell'animale. Alcuni amminoacidi sono invece considerati semi-essenziali (ad es. arginina) in quanto possono essere sintetizzati dalle vie metaboliche dell'organismo, ma a partire da altri amminoacidi quindi tale capacità potrebbe non essere sufficiente in alcune circostanze. Gli amminoacidi essenziali considerati "limitanti" sono quelli presenti negli alimenti nella proporzione meno favorevole rispetto ai fabbisogni. Nel caso specifico del suino, la lisina costituisce l'amminoacido essenziale limitante di maggior rilevanza (ANAS e CREA-ZA, 2021).

L'alimentazione somministrata deve in ogni modo assicurare non soltanto una quantità adeguata di amminoacidi essenziali, bensì anche una quantità di amminoacidi non essenziali sufficiente a fornire il gruppo amminico necessario per la sintesi degli stessi.

Il fabbisogno di amminoacidi è strettamente correlato alle capacità di deposizione delle proteine. I vari tessuti corporei si caratterizzano per una differente composizione amminoacidica, pertanto in diverse fasi del ciclo produttivo (fasi di crescita e ingrasso, periodo di gestazione, fase di lattazione) si osservano variazioni non solo nel fabbisogno complessivo di amminoacidi, ma anche nelle proporzioni tra gli amminoacidi specifici (ANAS e CREA-ZA, 2021).

Una sintesi di questa macchinosa situazione trova espressione nel concetto di "proteina ideale", che rappresenta una condizione in cui tutti gli amminoacidi essenziali sono presenti nelle proporzioni adeguate a soddisfare completamente i fabbisogni dell'animale (Van Milgen e Dourmad, 2015). Nella proteina ideale ciascun amminoacido essenziale è quantificato in percentuale rispetto alla lisina, la quale, come precedentemente detto, rappresenta l'amminoacido essenziale limitante principale. Pertanto, una volta determinati i requisiti di lisina e il rapporto ottimale tra questa e l'energia per un determinato profilo genetico, i fabbisogni relativi agli altri amminoacidi essenziali sono stabiliti in base a proporzioni prestabilite (Van Milgen e Dourmad, 2015). Ad esempio, nel caso dei suini in fase di crescita-ingrasso, Dourmad et al. (2008) propongono il seguente modello di proteina ideale:

Aminoacidi essenziali	%
Lisina	100
Metionina	30
Metionina + Cistina	60
Treonina	65
Triptofano	18
Valina	70
Isoleucina	55
Leucina	100
Fenilalanina	50
Fenilalanina + tirosina	95
Istidina	32
Arginina	42

Figura 6: Fabbisogno aminoacidico dei suini in accrescimento/ingrasso (fonte: ANAS, 2021)

2.1.1 I fabbisogni di calcio e fosforo

Il fosforo (P) e il calcio (Ca) sono due dei minerali più abbondanti negli organismi animali. Entrambi rivestono un ruolo cruciale, poiché oltre a costituire un componente essenziale dell'apparato scheletrico, sono coinvolti in processi di vitale importanza. Infatti, il fosforo non solo contribuisce alla composizione del DNA, ma anche alla sintesi di ATP (adenosintrifosfato), il carburante fondamentale per tutti i processi metabolici. È da notare che il fosforo contenuto nell'apparato scheletrico costituisce circa il 75% del totale presente nell'organismo. Il calcio risulta invece insostituibile per il processo di mineralizzazione ossea, per la contrazione muscolare e la diffusione degli impulsi nervosi (Bikker et al., 2017). Per tale ragione, una qualsiasi carenza di fosforo nell'alimentazione, ancor prima di influire sulle performance produttive degli animali, comporta effetti avversi sulla struttura minerale dell'osso, visibili però soltanto nel lungo periodo. Tra questi rientrano le zoppie o una maggiore predisposizione alle fratture in risposta a sollecitazioni improvvise, come quelle legate a comportamenti di lotta, cavalcamento, movimentazione e trasporto degli animali (ANAS, 2020).

Simile aspetto assume particolare rilevanza nella produzione del suino pesante italiano. In questo particolare caso, l'elevato peso di macellazione, che si attesta tra 170 e 175 kg di peso vivo, viene infatti raggiunto come minimo all'età di 9 mesi, ovvero una fase in cui non è ancora stata raggiunta la piena maturità fisiologica e l'animale si trova in uno stadio di crescita relativamente attiva, pertanto anche l'apparato scheletrico subisce cambiamenti rapidi e significativi. Di conseguenza, espone gli animali al rischio di un aumento delle fratture, ad esempio a livello del femore, risulterebbe inaccettabile per gli allevatori poiché comporterebbe la perdita del valore dell'intera carcassa destinata alla trasformazione (ANAS, 2020).

I fabbisogni di Ca e P possono essere definiti, in linea di massima, come ottimizzazione della crescita in base al potenziale genetico, garantendo al tempo stesso una mineralizzazione ossea ottimale e mantenendo minimi i rischi ambientali. In altre parole, è necessario un approccio multicriterio per stabilire i fabbisogni nutrizionali. Per rispondere a questi diversi obiettivi, i modelli sempre più

meccanicistici considerano simultaneamente le variabili più importanti, tra cui la genetica, il peso vivo e il sesso (Lautrou et al. 2021). Tuttavia, relativamente ai fabbisogni specifici per il suino pesante la letteratura scarseggia. Le linee guida proposte dall'ANAS (associazione nazionale allevatori suini) e redatte dal CREA-ZA riportano che una razione ottimale per il suino pesante all'ingrasso debba contenere circa lo 0,27% di P digeribile e lo 0,80% di Ca.

2.2 La relazione tra alimentazione ed emissioni di NH₃

L'efficienza di utilizzo degli alimenti influenza significativamente l'escrezione dei nutrienti, soprattutto per quanto concerne l'azoto. Accanto all'alimentazione anche la genetica degli animali svolge un ruolo significativo nel determinare l'efficienza di conversione degli alimenti.

Nell'ambito dell'allevamento suinicolo, la capacità di utilizzare in modo efficiente l'azoto e il fosforo forniti con la dieta oscilla generalmente tra il 18% e il 40%. (de Lange et al., 1999). Tali capacità sono solitamente più basse nel settore riproduzione rispetto al settore allevamento e nel suino pesante rispetto a quello leggero. Più precisamente la ritenzione dell'azoto risulta maggiore nei maschi interi (34%) rispetto alle femmine (23%) e ai maschi castrati ed aumenta negli animali giovani fino ad un picco massimo per poi diminuire (Aarnik et al. 2007). La ritenzione dell'azoto è inoltre più elevata nei genotipi ad alto valore genetico selezionati per l'indice di conversione alimentare (I.C.A), attraverso il quale è perlopiù possibile ottenere soggetti con una buona capacità di trasformare gli alimenti in incremento di peso corporeo. Un esempio pratico è il caso dei suini in fase di allevamento-ingrasso alimentati con diete a base di cereali e farina di estrazione di soia, in cui viene ritenuto circa il 32% dell'azoto ingerito (Dourmad et al., 2007).

L'escrezione di azoto fecale, che ammonta a circa il 17% dell'azoto ingerito, corrisponde alle proteine alimentari indigeribili, alla proteina microbica e alle perdite azotate endogene dovute agli enzimi digestivi e alle desquamazioni del digerente (Dourmad et al., 2007). Le proteine alimentari digeribili sono invece assorbite come amminoacidi a livello del piccolo intestino e utilizzati successivamente per la sintesi e la deposizione proteica (ANAS, 2021). Le perdite obbligate di amminoacidi sono collegate al turnover proteico e al rinnovamento dei tessuti. Gli amminoacidi che residuano, una volta soddisfatte le necessità della deposizione proteica, del turnover proteico e del rinnovamento dei tessuti, sono catabolizzati ed escreti soprattutto sotto forma di urea con le urine. In suini alimentati con diete convenzionali questa frazione dell'azoto escreto è generalmente la più significativa (Dourmad et al., 2007).

In altre parole, sulla base di quanto precedentemente illustrato, è possibile affermare che, tanto più la composizione amminoacidica della dieta viene elaborata in funzione dell'effettivo fabbisogno dei suini, sia sotto l'aspetto della quantità totale di amminoacidi che in termini di proporzioni rispetto alla proteina ideale, tanto maggiore sarà l'efficienza nella conversione dell'azoto alimentare in incremento di peso vivo e tanto minore risulterà l'escrezione complessiva di azoto e quindi anche il presumibile impatto ambientale derivante dall'attività di allevamento. Al contrario, tanto maggiore

è il contenuto di azoto nella dieta tanto più elevata risulta la quota di azoto eliminato e presente nelle urine (ANAS, 2021).

La nutrizione è dunque una delle strategie più efficaci per ridurre l'impatto ambientale poiché da esse dipende la composizione delle deiezioni e di conseguenza anche la possibilità di modificarne le caratteristiche, limitando le emissioni negli allevamenti nelle zone di stabulazione e durante lo stoccaggio e lo spargimento.

Le azioni che possono essere intraprese per modificare l'alimentazione sono molteplici e possono prevedere diversi approcci. La fibra alimentare, ad esempio, può influenzare un'ampia gamma di processi fisiologici e modificare anche la natura del contenuto del tratto gastrointestinale, che a sua volta influenza il modo in cui vengono assorbiti altri nutrienti e sostanze chimiche (Hansen et al., 2007). Sebbene non completamente digeribili, le fibre alimentari costituiscono comunque una componente chiave di molte diete destinate ai suini e comprendono un'ampia gamma di carboidrati noti come polisaccaridi non amidacei, tra cui pectine, cellulosa ed emicellulose. Esistono quindi svariati ingredienti ricchi di fibre che vengono incluse normalmente seppur in quantità limitata, alle diete degli animali (Knudsen et al., 1991). Tra questi si trovano le crusche che possono essere di frumento, di mais o di segale e polpa o fibre di barbabietola da zucchero. Diversi studi hanno dimostrato che il consumo di una maggiore quantità di fibre alimentari crea condizioni intestinali che favoriscono il trasferimento dell'urea dal sangue all'intestino crasso (Nahm, 2003 e Pastuszewska B, 2000). Di conseguenza, l'escrezione urinaria di azoto diminuisce mentre la produzione di azoto fecale aumenta (Mroz et al., 2000). Ciò significa che il contenuto di fibre nella dieta influenza la composizione dei liquami e il modello di escrezione dell'azoto (Mroz et al., 2000).

Da ciò emerge la rilevante differenza tra N non digerito escreto nelle feci e N catabolizzato escreto nelle urine, la quale permette di operare una distinzione tra N organico, che è una forma stabile di N e N ureico, che invece viene rapidamente degradato in ammoniaca (Sigurdarson et al., 2018). L'azoto contenuto nelle deiezioni suine viene infatti degradato dai microrganismi, portando alla formazione di vari composti dell'azoto che vengono successivamente emessi nell'ambiente con diversi impatti negativi. All'interno dei liquami, le forme principali in cui si trova l'N sono le proteine microbiche (N organico) e non digerite, l'urea e l'N ammoniacale (N minerale). Di queste, l'urea viene rapidamente convertita in NH_3 dall'ureasi, un enzima citoplasmatico abbondantemente prodotto dai microrganismi presenti nel letame (Mobley and Hausinger, 1989). La velocità con cui avviene l'idrolisi dell'urea dipende dalla concentrazione dell'urea stessa, ma soltanto fino al raggiungimento di una determinata soglia oltre la quale la cinetica di ureolisi è limitata e che corrisponde alla massima attività dell'ureasi (Braam et al., 1997). La mineralizzazione delle proteine non digerite è invece più lenta e richiede la presenza di microrganismi specifici (Cappelaere et al., 2021).

In soluzione nei liquami, l'ammoniaca (NH_3) si trova in equilibrio acido-base con la sua forma protonata, lo ione ammonio (NH_4^+), che al contrario non è volatile. Il punto di equilibrio dei due composti in soluzione dipende dal pH, che se neutro-basico favorisce la formazione e la liberazione di ammoniaca (Cappelaere et al., 2021). Una volta volatilizzata l' NH_3 si deposita nell'ambiente in tempi relativamente brevi e viene degradata in ossidi di N: nitriti (NO_2^-) e poi i nitrati (NO_3^-) durante il processo di nitrificazione. Questa fase del ciclo dell'azoto avviene in condizioni aerobiche e, per

questo, non coinvolge particolarmente i liquami, che sono un ambiente anaerobico (Sigurdarson et al., 2018). I nitrati vengono successivamente degradati in azoto molecolare (N_2) attraverso la denitrificazione. Durante questi processi di nitrificazione-denitrificazione vengono prodotti a causa di reazioni biologiche incomplete anche l'ossido nitrico (NO) e il protossido di azoto (N_2O), ovvero due potenti gas serra (Cappelaere et al., 2021).

Molti dei composti gassosi dell'N (tra i quali NH_3 , NO, N_2O , N_2) si formano quindi in presenza di ossigeno e volatilizzano se direttamente esposti all'aria. Tuttavia, poiché come detto i liquami sono prevalentemente un ambiente anaerobico, le emissioni in azienda risultano perciò in gran parte sotto forma di NH_3 (Sigurdarson et al., 2018). Vale a dire che, essendo le condizioni ottimali per la completa idrolisi dell'urea ampiamente soddisfatte in allevamento, i principali fattori limitanti l'emissione coincidono proprio con la disponibilità di urea e con le caratteristiche di equilibrio elettrolitico delle deiezioni. Infatti, come precedentemente esposto, il pH è un aspetto fondamentale poiché direttamente capace di favorire il lato sinistro dell'equilibrio chimico NH_4^+ / NH_3 , limitando la volatilizzazione di ammoniaca (figura 7).

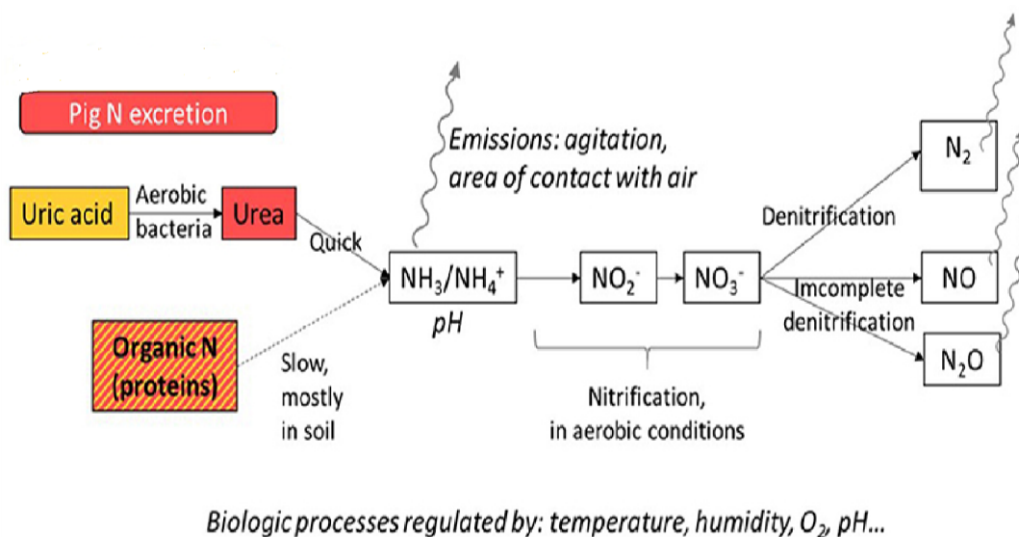


Figura 7: Trasformazioni dell'azoto e produzione di ammoniaca nel letame (fonte: Cappelaere et al., 2021)

Fondamentalmente emerge che la composizione della dieta è un fattore cruciale in grado di influenzare l'escrezione dell'azoto e quindi le emissioni di NH_3 poiché altamente correlate all'assunzione di N e all'efficienza alimentare. Una volta raggiunta una corrispondenza più stretta tra l'assunzione di N nell'alimento e il fabbisogno dei suini in base allo stadio fisiologico o di crescita diventano determinanti altri fattori associati alla manipolazione della dieta, in grado di influenzare la composizione delle deiezioni.

2.2.1 Strategie e tecniche di alimentazione per ridurre le emissioni di ammoniaca

Considerando quanto precedentemente esposto, appare evidente che una considerevole frazione (quasi la metà) dell'escrezione di azoto nelle deiezioni suine sia attribuibile a un erraneo bilanciamento degli amminoacidi nella dieta (de Lange et al., 1999). Di conseguenza, la formulazione di diete che includono amminoacidi di sintesi e diverse fonti proteiche combinate in modo adeguato offre l'opportunità di apportare gli amminoacidi nei quantitativi che rispecchiano gli effettivi fabbisogni e nelle proporzioni maggiormente assimilabili alla cosiddetta "proteina ideale" (Morales et al., 2015). Ciò consente di evitare un eccessivo apporto di azoto, riducendo il catabolismo azotato e la conseguente escrezione attraverso le urine. In particolare, durante gli anni '90, sono stati condotti numerosi studi volti a esaminare la fattibilità di ridurre il tenore proteico delle diete mediante l'integrazione di amminoacidi sintetizzati industrialmente, al fine di conservare un equilibrio nella composizione amminoacidica (Bosi et al., 1995; Chauvel, 1994; Crovetto et al., 1995; Gatel e Grosjean, 1992; Martelli et al., 1995; Pi-va et al., 1993; Quiniou et al., 1994; Schutte et al., 1993). Tuttavia, per i suini l'alimentazione a ridotto tenore proteico deve essere formulata prendendo in considerazione il potenziale di accrescimento del tessuto muscolare, che è determinato dal genotipo dell'animale, e il grado di copertura adiposa delle carcasse che si desidera conseguire in base anche a quanto previsto dai disciplinari tecnici di produzione (Mipaaf, 2015). Dunque, per evitare di compromettere la qualità delle carni, specialmente nei casi in cui legate a marchi di qualità, non è possibile fare affidamento a percentuali standardizzate di riduzione proteica. È essenziale, piuttosto, adattare i valori alle specifiche condizioni di ciascun allevamento (Mordenti et al., 2003). La strategia nutrizionale per mitigare l'impatto ambientale deve essere difatti concepita anche in modo tale da non pregiudicare, ma anzi favorire, la produttività degli animali, le loro condizioni di benessere ed il loro stato di salute (Mipaaf, 2015).

Il primo aspetto da considerare come strategia alimentare dovrebbe essere l'efficienza di conversione degli alimenti, in particolare l'efficienza di trasformazione dell'azoto, ovvero quel parametro che consente di valutare il rapporto tra la quantità di azoto trattenuto rispetto a quella contenuta nell'alimento somministrato (Mordenti et al., 2003). In secondo luogo, risulta poi essenziale adottare un'alimentazione bilanciata in funzione dell'età e delle fasi fisiologiche e/o produttive dei capi (Rossi e Pacchioli, CRPA, 2012). L'obiettivo dell'alimentazione calibrata è quello di limitare l'eccesso di proteine introdotte con gli alimenti, assicurando che la quantità fornita soddisfi solo il reale fabbisogno nutrizionale. Questa tecnica si fonda principalmente sulla formulazione di diete e razioni adeguate alle varie fasi produttive degli animali. Tale pratica può talvolta comportare una maggiore complessità nella gestione dell'allevamento e richiedere eventualmente adeguamenti di tipo impiantistico, ma dimostra sicuramente la sua efficacia sia dal punto di vista ambientale che economico (Mipaaf, 2015). Per l'aspetto ambientale è difatti importante notare che una diminuzione dell'1% del tenore proteico nell'alimentazione corrisponde in media a una riduzione del 10% nell'escrezione di azoto, con implicazioni significative anche sulla gestione sostenibile delle risorse (ANAS, 2021). Effettivamente, dal punto di vista economico, una gestione più efficiente delle fonti proteiche, che spesso rappresentano una parte significativa dei

costi di produzione, può portare a risparmi senza compromettere la qualità dei prodotti, soprattutto quelli considerati simbolo dei marchi di qualità nazionali. Per i suini in fase di accrescimento e ingrasso, che rappresentano i momenti in cui si registra il più alto consumo di alimenti, è opportuno promuovere l'adozione di almeno tre formulazioni dietetiche distinte in base al peso degli animali. Inoltre, è consigliabile utilizzare metodi rapidi per stimare il contenuto proteico delle materie prime impiegate nella dieta (Bosi et al., 2004).

Nell'alimentazione del suino si fa inoltre ampio ricorso ad una vasta gamma di additivi di diversa natura e con differenti funzioni. Negli ultimi decenni, infatti, è cresciuta la preoccupazione anche per i residui di farmaci nei prodotti a base di carne e per l'emergenza sanitaria associata al fenomeno dell'antibiotico resistenza (Rosselli, 2005). Per preservare la salute e le prestazioni degli animali, molti ricercatori hanno per questo suggerito ad esempio l'uso di acidi organici (OA) come potenziali alternative all'impiego degli antibiotici, in passato impiegati spesso come promotori della crescita. Gli acidi organici e i loro sali sono stati quindi utilizzati per diverso tempo come additivi soprattutto nell'alimentazione dei suinetti (Galassi et al, 2011). Tra le diverse funzioni, questi integratori alimentari svolgono infatti un'attività antimicrobica, che può stimolare una riduzione del pH nel tratto gastrointestinale (Kim, 2005) e non solo, svolgendo un ruolo contro i batteri patogeni e, infine, migliorando anche l'utilizzo dei nutrienti e le prestazioni di crescita degli animali (Nguyen, 2005). Partanen e Mroz (1999) hanno riferito che l'inclusione di acidi organici nella dieta può quindi migliorare le prestazioni di crescita e modulare il microbiota intestinale nei suini. L'acido benzoico è stato ad esempio registrato nel 2004 come regolatore di acidità nelle diete per suini all'ingrasso, per la sua capacità di migliorare la digeribilità ileale della sostanza secca, della materia organica e di vari amminoacidi (Kristensen et al., 2009). Successivamente è stata presa in considerazione anche una possibile funzione alternativa. In precedenza, era infatti emerso da alcuni studi che gli effetti degli acidi organici non si limitavano all'aumento dell'acidità del tratto gastrointestinale bensì favorivano anche un miglioramento del bilancio dell'azoto ed una riduzione del pH urinario (Mroz, 2000) potenzialmente utile a ridurre le emissioni di ammoniaca (Kristensen et al., 2009). Ad oggi l'integrazione con acidi organici nella dieta è stata quindi rivalutata anche come valida soluzione al problema della crisi ambientale associata all'emissione di sostanze tossiche e nocive provenienti dagli allevamenti suini.

2.3 Aspetti normativi in ambito ambientale applicati al settore suinicolo

Il settore zootecnico è regolato da una serie di normative istituite in ambito europeo, finalizzate a ridurre al minimo il potenziale impatto ambientale derivante dalle produzioni animali. La legislazione nazionale e dunque i corrispondenti decreti di recepimento in questione si fondano sui principi europei della precauzione, dell'azione preventiva e della correzione direttamente alle fonti dei danni causati dall'inquinamento (Commissione Europea -Energy, Climate change, Environment, 2023).

L'Unione europea, promuovendo l'adozione di pratiche agricole sostenibili e rispettose dell'ambiente, ha introdotto una serie di normative mirate alla salvaguardia delle risorse

fondamentali, tra cui acqua, aria e suolo. Nello specifico, per quanto concerne la gestione delle risorse idriche, le prime misure di protezione e prevenzione dell'inquinamento da nitrati di origine agricola rientrano nel quadro normativo europeo 676/91 CEE - *Direttiva Nitrati*. Quest'ultima viene recepita in Italia col D. Lgs 152/99 e successivo D.M. 152/2006 in cui vengono definiti i codici e le buone pratiche relative all'impiego agronomico e alla gestione degli effluenti e delle acque reflue provenienti dall'attività zootecnica, al fine di conformarsi ai requisiti stabiliti dalle leggi comunitarie. Infatti, anche se l'azoto è un nutriente essenziale per piante e colture, concentrazioni eccessive risultano dannose per l'uomo e gli ecosistemi. I nitrati e i composti organici dell'azoto derivanti da fertilizzanti e letame (provenienti anche dalle emissioni di ammoniaca dai reflui zootecnici) fluiscono nelle acque sotterranee per lisciviazione e raggiungono le acque superficiali mediante deflusso dai campi agricoli. Un elevato contenuto di nitrati rende così l'acqua inadatta al consumo, mentre nei bacini idrici l'azoto stimola la crescita incontrollata delle alghe (eutrofizzazione) che sottraggono gran parte dell'ossigeno disponibile per gli altri organismi (Commissione Europea, 2023).

Con la Direttiva vengono quindi identificate e designate aree definite "zone vulnerabili" all'inquinamento da nitrati, periodicamente riesaminate (ogni quattro anni) proprio per le loro caratteristiche di sensibilità ambientale ("tessitura, pendenza, presenza di sorgenti, permeabilità del terreno"). In queste aree a rischio è imposto un limite quantitativo massimo di azoto depositabile di origine zootecnica per anno pari a 170 kg N/ha. Nelle zone così identificate, si rende necessaria l'attuazione di piani d'azione volti a mitigare l'inquinamento, insieme alla formulazione di criteri e norme tecniche delle attività agricole che stabiliscono precise linee guida per l'impiego di fertilizzanti, la gestione dei reflui zootecnici e le pratiche di stoccaggio (Commissione Europea, 2023). La Regione Emilia Romagna, in ottemperanza alle disposizioni delle normative nazionali, valuta la fattibilità dell'applicazione dei fertilizzanti azotati in base alle previsioni delle precipitazioni, all'analisi del deficit idrico nei terreni e alle restrizioni concernenti la qualità dell'aria. Inoltre, offre agli allevatori la possibilità di compilare un bilancio aziendale dell'azoto, il quale consente di calcolare l'area necessaria per la distribuzione dei reflui zootecnici. La realizzazione di un bilancio specifico, adattato alle singole condizioni aziendali, consente agli allevatori di adottare pratiche di gestione zootecnica con minor impatto ambientale, riducendo al contempo le emissioni di nutrienti (Regione Emilia Romagna, 2022).

Un'ulteriore normativa che ha un notevole impatto sul settore zootecnico in tema di prevenzione, riduzione e prospettiva di abbattimento delle emissioni in atmosfera, provenienti dalle attività industriali, è la *Direttiva IED* - Industrial Emission Directive- 75/2010, recepita a livello nazionale dal D. Lgs 46/2014. Essa stabilisce una serie di disposizioni finalizzate a garantire un alto grado di tutela dell'ambiente, predispone i valori limite di emissione per le sostanze inquinanti e definisce i criteri adatti a preservare l'integrità del suolo e la qualità delle acque sotterranee (Gazzetta ufficiale dell'Unione europea, 2010). Inoltre, la direttiva richiede l'attuazione delle migliori tecniche disponibili (BAT, best available techniques) come obbligo per ottenere l'autorizzazione ambientale integrata (AIA). Per quanto concerne il settore suinicolo, le BAT, che vengono sempre rinnovate in funzione dei progressi tecnologici, vanno applicate agli allevamenti intensivi aventi più di 2000 capi da ingrasso o con più di 750 scrofe e si estendono a tutte le attività intraprese all'interno dell'azienda,

coprendo aspetti che vanno dall'allevamento suino in generale alla gestione dei reflui zootecnici (Gazzetta ufficiale dell'Unione europea, 2010).

Nell'aprile 2022 la Commissione ha avanzato diverse proposte per l'aggiornamento e l'ammodernamento delle norme sulle emissioni provenienti dall'industria. Tale iniziativa mira a riesaminare le disposizioni attuali al fine di allinearle con le ambizioni dell'Unione Europea in termini di mitigazione dei cambiamenti climatici e controllo dell'inquinamento, come delineato nel Green Deal (Commissione Europea, 2023). L'obiettivo ultimo è promuovere una definitiva transizione dei più grandi stabilimenti agroindustriali verso un'economia a inquinamento zero, concorrenziale e climaticamente neutra entro il 2050.

Nel 2016, per il comparto aria, è stata successivamente integrata la *Direttiva NEC* - National Emission Ceiling- 2016/2284 poi recepita in Italia attraverso il D. Lgs 81/2018, la quale si focalizza sulla mitigazione, a livello nazionale, di alcune sostanze inquinanti con effetti acidificanti, eutrofizzanti o precursori dell'ozono di origine antropica in atmosfera, tra cui SO₂, NO_x, NH₃ e particolato fine (PM 2.5). La direttiva stabilisce limiti di emissioni di questi composti a livello nazionale, così da contrastarne gli effetti nocivi sulla salute e sull'ambiente e definisce obiettivi strategici di riduzione percentuale prefissati nel periodo 2020-2030 per singolo paese membro (Senato della Repubblica, 2018). Questo scenario richiede l'elaborazione e l'implementazione di programmi nazionali di controllo e monitoraggio dell'inquinamento atmosferico. In risposta a questa necessità, gli Stati europei hanno sviluppato per il settore zootecnico un "codice nazionale indicativo di buone pratiche agricole" volto a valutare e gestire le emissioni di ammoniaca provenienti dai processi di stoccaggio e diffusione del letame, nonché dalle pratiche di alimentazione e stabulazione degli animali. Ciò è necessario per perseguire gli obiettivi di riduzione delle emissioni previsti in Italia per il settore agricolo che prevedono un abbattimento annuale del 5% delle emissioni di ammoniaca dal 2020 al 2029 e una riduzione del 16% in qualsiasi anno a partire dal 2030, rispetto ai livelli del 2005 (CRPA, 2020).

In Italia si è quindi provveduto alla stesura di linee guida, contratti d'intesa e provvedimenti normativi a valenza interregionale, tra cui l'*Accordo di Bacino Padano* stipulato tra il Ministero per l'Ambiente e le Regioni a marcata vocazione agricola e zootecnica, quali: Lombardia, Piemonte, Veneto ed Emilia-Romagna. In questo accordo, si sostiene l'impegno comune di implementare misure congiunte per migliorare la qualità dell'aria attraverso strategie a breve, medio e lungo termine.

Il Ministero delle Politiche Agricole (Mipaaf), con l'obiettivo di promuovere una significativa riduzione delle emissioni atmosferiche, ha redatto linee guida che forniscono direttive tecniche alle amministrazioni coinvolte nell'Accordo di Bacino Padano. Queste indicazioni mirano a implementare interventi volti a ridurre le emissioni senza però trascurare né le normative ambientali e né tantomeno quelle settoriali. Le linee guida considerano vari aspetti, compresa la salute e il benessere animale, nonché la sicurezza sul lavoro attraverso due proposte distinte: una focalizzata sulle azioni di riduzione "a monte," che mirano a diminuire le emissioni prevenendo l'escrezione di azoto, e l'altra dedicata alle misure di contenimento "a valle," finalizzate a limitare le emissioni di azoto una volta escreto.

Le regioni settentrionale dell'Italia, la Pianura Padana, sono pertanto chiamate a compiere uno sforzo significativo per ridurre le emissioni di origine agricola. Questa area è difatti una componente trainante dell'industria e dell'agricoltura italiana ed anche per questo contribuisce in modo rilevante alle emissioni complessive del paese. La Pianura Padana è in aggiunta caratterizzata da una particolare conformazione geografica, con sistemi montuosi che la circondano su tre lati, producendo una sorta di "incavo" geografico (Clarisse et al., 2009). Questa conformazione favorisce l'accumulo degli inquinanti atmosferici, tra cui particolato PM10 e PM2.5, che negli ultimi anni hanno spesso superato i limiti stabiliti dalla Direttiva 2008/50/CE.

Le statistiche nazionali evidenziano per di più, che il settore agricolo del Nord Italia è stato responsabile del 94% delle emissioni totali annuali di ammoniaca a livello nazionale (figura 8). In particolare, le perdite di ammoniaca sembrano essere associate principalmente all'allevamento zootecnico, agli impianti di stoccaggio di letame e liquami, nonché all'applicazione di questi sul suolo (ISPRA, 2019).

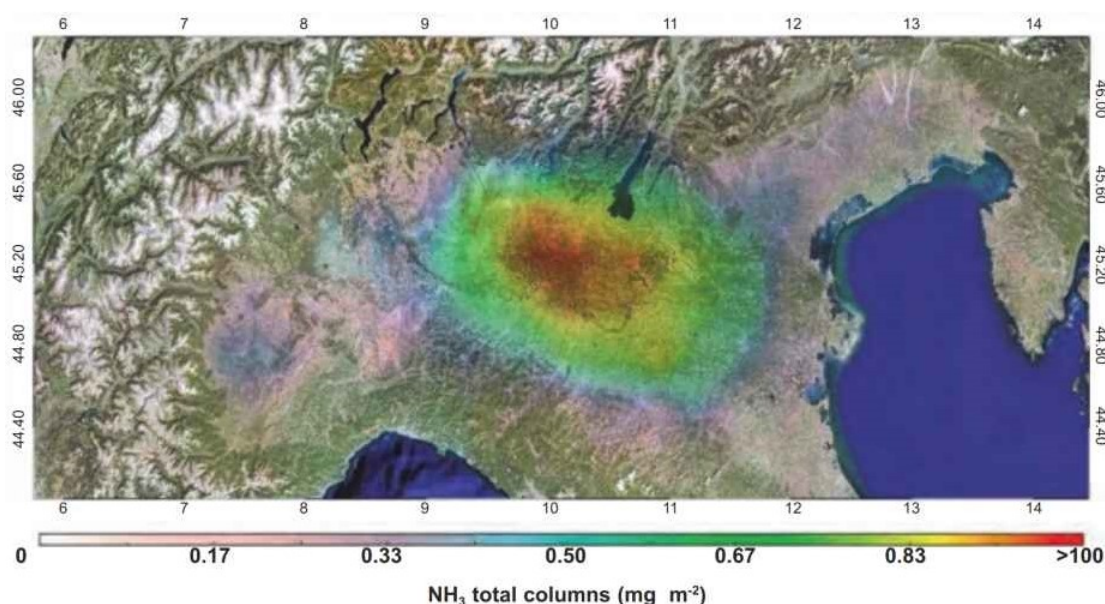


Figura 8: Distribuzione spaziale delle concentrazioni medie di ammoniaca nel nord Italia da misure satellitari IASI (Infrared Atmospheric Sounding Interferometer) del 2008. (Fonte: Clarisse et al., 2009)

Dal 2014 quindi, la Politica Agricola Comune (PAC) dell'Unione Europea ha come principali obiettivi il sostegno e la promozione di pratiche agricole sostenibili. Ciò è reso possibile dalla Politica Europea di Sviluppo Rurale (art. 5 del Regolamento (UE) n. 1305/2013 sul sostegno allo sviluppo rurale da parte del Fondo europeo agricolo per lo sviluppo rurale -FEASR), la quale viene messa in pratica attraverso i Programmi di Sviluppo Rurale (PSR) che sono elaborati da ciascun Stato membro dell'UE. Questi programmi rappresentano documenti disposti a livello nazionale e regionale che delineano

le azioni e le strategie prioritarie necessarie per affrontare le specifiche esigenze delle rispettive aree geografiche (Corte dei conti europea, 2021).

Lo sviluppo rurale abbraccia diverse aree d'intervento, tra cui anche la specifica iniziativa volta a mitigare le emissioni di gas serra e ammoniacca originate dall'attività agricola. Dal momento che le politiche dell'Unione Europea incoraggiano l'adozione di strategie e pratiche gestionali avanzate mirate a limitare le emissioni nelle aziende agro-zootecniche, la Regione Emilia Romagna ha di conseguenza optato per l'istituzione di 17 Focus Area, di cui 7 sono specificamente orientate verso le questioni ambientali e climatiche (Regione Emilia Romagna, 2023). Queste Focus Area servono da cornice per la pianificazione e l'attuazione di vari interventi su diversi fronti. Coerentemente con gli obiettivi della politica di sviluppo rurale la strategia del PSR 2014-2022 si articola nelle Priorità (obiettivi generali) e Focus Area (obiettivi specifici) individuate a livello europeo. Più precisamente, il programma implementato dalla regione, si concentra sulla promozione della conoscenza e dell'innovazione, con l'obiettivo di garantire una gestione sostenibile dell'ambiente e del clima, attraverso le priorità 4 e 5:

- P4 = “Preservare, ripristinare e valorizzare gli ecosistemi connessi all’agricoltura e alla silvicoltura”
- P5 = “Incentivare l’uso efficiente delle risorse e il passaggio a un’economia a basse emissioni di carbonio e resiliente al clima nel settore agroalimentare e forestale”

In particolare attraverso la priorità 5 si declina la focus area 5D che si focalizza sull’obiettivo specifico di “ridurre le emissioni di gas a effetto serra e di ammoniacca prodotte dall'agricoltura”, in totale intesa con quanto previsto dall’accordo siglato tra le regioni padane, residenti in un bacino che, come precedentemente detto, è noto per il superamento dei limiti di concentrazione delle polveri sottili, e dalla direttiva IED che regola le emissioni in atmosfera provenienti dalle aziende zootecniche, con la quale si richiede agli allevamenti suinicolo e avicoli al di sopra di una certa dimensione di dotarsi dell’AIA (Autorizzazione Integrata Ambientale) facendo ricorso alle BAT proposte nel BRef (BAT reference document).

2.3.1 Misure per la riduzione delle emissioni di ammoniacca

Le tecniche (singole o in combinazione) volte a contenere le emissioni di ammoniacca in agricoltura nelle diverse fasi produttive che possono essere applicate agli allevamenti che superano le soglie per l’Autorizzazione Integrata Ambientale, insieme alle valutazioni relative all'efficacia e ai costi associati, sono consultabili nella documentazione riguardante l'identificazione delle migliori tecniche disponibili (BREF IRPP 2017, intensive Rearing of Poultry or Pigs), revisionata nel 2017 (Mipaaf, 2015). Le BATs simboleggiano lo strumento più valido e avanzato nello sviluppo delle azioni, dei relativi metodi operativi e della sostenibilità pratica di specifiche tecniche destinate a prevenire o, qualora ciò non sia fattibile, ridurre le emissioni e l'impatto complessivo sull'ambiente. In particolare,

sono state studiate diverse tecniche per ridurre le emissioni ammoniacali dalle deiezioni suinicole (Peet-Schwering et al., 1999; Bonazzi, 2003).

Anche nelle linee guida vengono presentate diverse categorie di intervento per l'abbattimento delle emissioni che si suddividono in: azioni "a monte" per il contenimento del volume di escreto per unità di prodotto finito, e azioni "a valle" per la riduzione delle emissioni dall'escreto una volta prodotto. Le azioni a monte comprendono la gestione zootecnica e la gestione alimentare. Si tratta cioè di interventi finalizzati a contenere il numero di capi allevati e ottimizzare l'efficienza produttiva. Ad esempio attraverso:

- a) Il miglioramento della fertilità e l'estensione della carriera produttiva volte a ridurre il numero di capi da rimonta con conseguente diminuzione dell'azoto escreto a parità di produzione;
- b) La riduzione della mortalità, dello scarto e delle patologie.

Le principali tecniche proposte invece nel caso specifico della gestione alimentare prevedono:

- a) La somministrazione di un'alimentazione a fasi (alimentazione calibrata) elaborata in funzione dell'età e dello stadio fisiologico e produttivo degli animali. L'alimentazione calibrata mira a soddisfare al meglio le esigenze nutrizionali per prevenire l'eccesso di proteine fornite. Si basa sostanzialmente sulla formulazione di diete che rispondano alle necessità biologiche degli animali senza superare la loro capacità di deposizione proteica.
- b) L'adozione di un regime alimentare a basso tenore proteico, con o senza il supplemento di aminoacidi di sintesi, il quale comporta una diminuzione della quantità di proteina grezza mediante una dieta bilanciata in termini di azoto e basata sui fabbisogni energetici e sugli aminoacidi digeribili. Per i suini la formulazione di una razione a ridotto contenuto proteico deve considerare l'accrescimento del tessuto muscolare e il grado di copertura adiposa delle carcasse. al fine di preservare la qualità delle carni, non è possibile applicare riduzioni standardizzate delle proteine; è invece necessario condurre valutazioni individualizzate. Le esigenze aminoacidiche possono essere soddisfatte tramite alimenti proteici o integratori di aminoacidi sintetici. Tuttavia, la riduzione del contenuto proteico non deve mai scendere al di sotto della quantità di proteina necessaria per la sintesi degli aminoacidi non essenziali nell'organismo dell'animale.
- c) Un maggiore apporto di polisaccaridi non amidacei nella razione permette di ridurre le emissioni di ammoniaca nelle urine e stabilizzare quelle provenienti dal letame, ma presenta alcune controindicazioni, tra cui un incremento nella produzione di metano e una riduzione delle prestazioni degli animali.
- d) Integrare nell'alimentazione acidi organici e sali minerali per abbassare il pH delle urine e dei liquami riducendo le emissioni di ammoniaca. Nel suino è possibile impiegare ad esempio l'acido benzoico che anche se efficace potrebbe comportare costi elevati e presentare alcune sfide pratiche nell'applicazione.

In virtù di quanto finora esposto vale la pena concentrarsi sugli interventi più validi e studiati relativi alle diete, come la riduzione del tenore proteico, l'integrazione con amminoacidi e acidi organici, che possono permettere di ridurre la quantità di azoto catabolizzato ed eliminato con le urine e contribuire significativamente agli sforzi di mitigazione delle emissioni soprattutto se adottati in sinergia con altre strategie. Diventa infatti utile considerare che l'escrezione di nutrienti risulta arginabile ma non evitabile quindi l'adozione di un'alimentazione a basso contenuto di proteine come strategia isolata potrebbe presentare una limitata efficacia.

In tal senso è opportuno ricordare che l'azoto escreto contenuto nelle feci è poco suscettibile a degradazione rapida e che per contro l'azoto escreto con le urine si trova primariamente sotto forma di urea che, venendo rapidamente convertita in ammoniaca per azione dell'enzima ureasi, è la più grande responsabile del processo di volatilizzazione ammoniacale (Crovetto e Sandrucci, 2010). Portejoie et al. (2004) hanno dunque dimostrato che è possibile ridurre del 63% l'emissione di NH_3 dai reflui suini, nell'intero processo dalla stalla fino al campo attraverso la complementarità di molteplici strategie: è stato cioè diminuito il tenore proteico della dieta dei suini all'ingrasso dal 20 al 12% sul secco, integrata la razione con amminoacidi di sintesi e in aggiunta sono stati impiegati acidi organici, i quali determinano una riduzione del pH delle urine per alterazione del bilancio elettrolitico (Cahn et al., 1998) e quindi una minore produzione di ammoniaca.

Diversi lavori hanno inoltre messo in luce l'influenza di altri fattori alimentari, specialmente l'utilizzo di polisaccaridi non amidacei (NSP, Non Starch Polysaccharides) sul pH e sulla volatilizzazione di ammoniaca dai reflui suinicoli (Canh et al., 1997; Canh et al., 1998; Kreuzer et al., 1998; Ly et al., 2003). La somministrazione di polisaccaridi non amidacei, infatti, comporterebbe un trasferimento dell'escrezione azotata dall'azoto urinario a quello delle proteine fecali grazie ad una stimolata proliferazione microbica a livello di intestino crasso del suino. Tuttavia, in alcune circostanze tali tecniche suggerirebbero l'impiego di materie prime ricche NSP, che non sono però contemplate negli elenchi di ingredienti ammessi dai rigorosi disciplinari tecnici dei principali consorzi di produzione del prosciutto DOP italiano (Crovetto e Sandrucci, 2010). In altri casi invece i disciplinari ne ammettono l'utilizzo, ma in quantità piuttosto limitata (ad esempio le polpe di bietola essiccate).

2.3.2 Bilancio e gestione dell'azoto

Da un punto di vista ambientale, le principali sfide connesse all'allevamento intensivo dei suini derivano dall'alta densità di animali confinati in spazi limitati. A questa problematica si aggiunge il fatto che una considerevole quantità di alimenti utilizzati nell'alimentazione dei suini viene acquistata esternamente anziché essere prodotta internamente. Questo comporta un notevole ingresso di nutrienti, soprattutto azoto, provenienti da fonti esterne all'azienda e dunque presumibilmente in eccesso (Schiavon et al., 2007). Pertanto, per valutare l'efficienza nell'utilizzo dei nutrienti degli animali e identificare strategie atte a limitare l'impatto ambientale, diventa estremamente vantaggioso prevedere e calcolare con precisione l'escrezione di azoto all'interno dell'azienda (Crovetto e Sandrucci, 2010). Il criterio per eseguire il bilancio e stimare la quantità di

azoto escreto è stato proposto dalla Commissione Europea già nel 1999 (ERM/AB –DLO, 1999 - Establishment of Criteria for the Assessment of Nitrogen Content of Animal Manures) ed è stato successivamente incorporato e consolidato anche dalle normative nazionali e regionali in adempimento della Direttiva Nitrati.

Il bilancio effettuato a livello aziendale costituisce il presupposto fondamentale per sviluppare qualunque strategia integrata che sia finalizzata a ridurre il surplus di azoto, migliorarne l'efficienza d'uso e, di conseguenza, mitigare le emissioni di ammoniaca (ANAS, 2021). Difatti, dal momento che l'azoto in eccesso rappresenta un indice della pressione che l'attività zootecnica esercita sull'ambiente e l'efficienza di utilizzo dell'azoto (kg di prodotto ottenuto per kg di azoto adoperato) è indice dell'efficienza di gestione delle risorse, una valutazione accurata degli input e degli output è indispensabile per garantire la gestione sostenibile di questo elemento (CRPA, 2004).

È ampiamente riconosciuto che un bilancio azotato accurato, combinato con pratiche agricole adeguate, contribuisce alla minimizzazione delle perdite causate da lisciviazione, erosione, volatilizzazione e denitrificazione. Tuttavia, poiché i consumi alimentari, i contenuti proteici delle diete e i livelli di produzione possono variare considerevolmente in base a numerosi fattori, come la specie, il tipo di animali impiegati, la gestione alimentare, il mercato delle materie prime, gli obiettivi produttivi e così via (Schiavon et al., 2002), risulta fondamentale considerare le specifiche condizioni di allevamento e alimentazione che caratterizzano ciascuna realtà regionale e locale al fine di definire bilanci azotati adeguati negli allevamenti. Sono state, pertanto, sviluppate specifiche metodologie per la stima delle escrezioni (ANAS, 2021). Ad esempio per la suinicoltura e l'avicoltura, è possibile fare riferimento alle indicazioni fornite nei BRef (Best Available Techniques Reference Documents) elaborati per l'attuazione della Direttiva IPPC (Integrated Pollution Prevention and Control), che viene applicata nella concessione delle Autorizzazioni Integrate Ambientali per valutare le emissioni degli allevamenti in base alle pratiche adottate nelle diverse fasi di allevamento, come ricoveri, stoccaggio dei reflui, eventuale trattamento e spandimento dei reflui.

Il metodo di bilancio aziendale annuo (Figura 9) si basa sull'allestimento dell'inventario iniziale e finale degli animali (numero degli animali a inizio e fine ciclo), degli input di azoto sotto forma di animali (suini da ristallo o da rimonta) e sotto forma di alimenti (sia acquistati che autoprodotti), degli output di azoto sotto forma di animali (suini venduti o deceduti). Per tale determinazione è necessario prendere in considerazione i seguenti fattori (ANAS, 2021; CRPA, 2004; CREA-ZA, 2004):

1. Peso vivo e consistenza degli animali a inizio ciclo
2. peso vivo e consistenza degli animali in entrata
3. peso e consistenza degli animali in uscita che includono sia animali destinati alla commercializzazione (vendibili o prossimi alla macellazione) sia carcasse o prodotti fetali destinati a successive fasi di trasformazione.
4. peso e numero degli animali al termine di un ciclo di produzione (come ad esempio un anno solare o un ciclo di ingrasso di 6-7 mesi).
5. peso e composizione degli alimenti utilizzati: mangimi (completi e complementari) e materie prime

L'azoto escreto sarà dunque dato dalla seguente formula:

$$\text{Azoto escreto} = N \text{ mangime} - N \text{ saldo inventario} + (N \text{ animali in entrata} - N \text{ animali in uscita}).$$

ovvero

$$\text{Azoto escreto} = N \text{ in entrata (animali, alimenti)} - N \text{ in uscita (animali)}$$

In funzione degli stessi parametri è possibile determinare l'efficienza di utilizzo dell'azoto (resa), ovvero la percentuale dell'azoto contenuto negli alimenti che si traduce in chilogrammi di incremento di peso dell'animale:

$$\text{Resa dell'azoto} = (N \text{ animali in uscita} - N \text{ animali in entrata} + N \text{ saldo inventario}) / N \text{ mangime} \times 100$$

La resa dell'azoto è un indicatore dell'efficienza complessiva dell'allevamento, pertanto, risulta facilmente comprensibile per gli allevatori, i quali sono abituati a valutare la "resa del mangime" (kg di accrescimento corporeo/kg di mangime*100). Applicato a sistemi di allevamento con analoghe caratteristiche strutturali e gestionali, tale indice può aiutare a identificare le aree in cui è necessario intervenire per migliorare le performance produttive e ridurre l'impatto ambientale. L'azoto escreto costituisce il punto di partenza sia per il calcolo le emissioni nell'atmosfera che la determinazione delle superfici agricole richieste per massimizzare l'efficienza nell'utilizzo delle deiezioni da un punto di vista agronomico (ANAS, 2021).

Pertanto, la normativa vigente in materia (DM 7 aprile 2006 e ad es. per la Regione Emilia-Romagna Programma di Azione Regionale -Reg.3 del 15/12/17 -PAR), contempla la possibilità per l'allevatore di realizzare il piano di utilizzazione agronomica (PUA) delle deiezioni, basandosi sia sui valori di escrezione medi nazionali elencati nei rispettivi regolamenti, sia sulla valutazione del bilancio dell'azoto specifico della azienda (Schiavon et al., 2007).

Il contenuto di azoto negli animali è variabile in relazione al peso vivo. Ad esempio, si riscontrano in media 27 g di azoto / kg di peso vivo nei lattinzoli fino a 40 kg, 26 g di azoto / kg di peso vivo nei magroni con un peso compreso tra 40 e 80 kg, 25 g di azoto / kg di peso vivo nei magroni con peso tra 80 e 120 kg, e 24 g di azoto / kg di peso vivo nei suini grassi che superano i 120 kg, così come nelle scrofe e nei verri (Franchini et al., 2004). Il calcolo del bilancio dell'azoto si basa principalmente sulla stima dell'azoto introdotto attraverso il consumo di alimenti. La legislazione europea in materia di alimenti per animali è definita dal REGOLAMENTO (CE) N. 767/2009 DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO del 13 luglio 2009 e dal REGOLAMENTO (UE) 2017/2279 DELLA COMMISSIONE dell'11 dicembre 2017 che apporta modifiche ad alcuni allegati. I prodotti alimentari destinati agli animali devono essere accompagnati da un'etichetta contenente la dichiarazione dei componenti nutritivi in essi presenti, la cui complessità varia logicamente a seconda del tipo di prodotto (ad esempio le materie prime richiedono cartellini più semplici rispetto agli alimenti completi) e il cui tenore dichiarato non deve superare il limite di tolleranza predisposto in caso di differenze rispetto l'analisi effettuata (ANAS, 2021).

Ad ogni modo, si può affermare che sulla base delle ricerche effettuate in ambito nazionale ed europeo nel corso degli ultimi anni, nella maggior parte dei casi, le differenze riscontrate tra il tenore

proteico effettivamente analizzato e quello dichiarato sull'etichetta o calcolato ricorrendo a tabelle standard di composizione dei nutrienti rientrano nelle tolleranze analitiche stabilite dai menzionati regolamenti dell'Unione Europea. Questo permette agli allevatori di evitare di dover condurre frequenti e costose analisi degli alimenti qualora desiderino elaborare il proprio bilancio azotato. Resta tuttavia interesse dell'allevatore effettuare controlli periodici sulle proprietà degli alimenti impiegati, soprattutto quelli noti per la loro potenziale variabilità, come ad esempio i sottoprodotti lattiero caseari con riguardo al contenuto di sostanza secca o le farine proteiche derivanti da semi di oleaginose, come la soia, le cui caratteristiche in termini di tenore proteico possono variare a seconda dei processi di estrazione utilizzati (Schiavon et al., 2007).

MODULO 1a – Acquisizione dati suini in accrescimento - compilato

Azienda		xxx		Data di rilievo		xxx	
Responsabile tecnico		xxx					
DATI TECNICI	Consistenza media (capi/anno)	Durata media ciclo (giorni)	Vuoti (giorni)	Peso medio acquisto (kg)	Peso medio vendita (kg)	Mortalità (%)	
	CM	DUR	Vu	PVa	PVv	M	
	1000	210	15	30	160	2	
Alimentazione per fasi							
	Durata fasi (giorni)	Proteina grezza mangimi ¹ % t.q.		Fosforo mangimi % t.q.			
	DUR _{1...n}	PG _{1...n}		P _{1...n}			
- fase 1	28	17,5		0,65			
- fase 2	49	16,5		0,6			
- fase 3	49	15,5		0,6			
- fase 4	84	14,0		0,5			
- fase 5							
- rapporto siero/mangime (kg/kg)	0						

¹ valori espressi sul tal quale in riferimento ad un mangime standard con l'87% di ss

Tabella 5 – Risultati di bilancio

Indici tecnici	valore	Unità
Numero di cicli	1,59	n.
Capi prodotti	1590	Capi/anno
AMG	0,619	kg/d
Peso vivo finale	160	"
Totale consumo mangime	456	"
Proporzioni consumo dovute al siero	0,00	kg/kg
Contenuto medio di PG mangimi	15,03	% t.q.
Contenuto medio di N mangimi	0,024	kg/kg
Contenuto medio di P mangimi	0,006	kg/kg
Bilancio dell'azoto		
k_Nr suino	0,024	kg/kg
k_vol	0,28	"
Consumo	17,4	kg/capo/anno
Ritenzione	5,0	"
escrezione	12,5	"
N netto	9,0	"
N netto da DM 7_4_2006	9,8	"
Bilancio del fosforo		
k_pr	0,006	kg/kg
Consumo	4,00	kg/capo/anno
ritenzione	1,24	"
escrezione	2,76	"
Produzione aziendale di azoto netto		
da bilancio	8983	kg/anno
da DM 7/4/2006	9800	"
Produzione aziendale di fosforo	2756	kg/anno

Figura 9: Esempio applicativo di bilancio dell'azoto tramite procedura informatica (fonte: Schiavon et al., 2007)

L'utilizzo di tale procedura si configura dunque come un mezzo prezioso per ottimizzare le pratiche di allevamento non solo per quanto concerne la valutazione delle emissioni di nutrienti, ma anche per l'analisi degli indici tecnici aziendali, aspetti che rivestono un notevole rilievo dal punto di vista economico per gli allevatori. Inoltre, questo strumento agevola l'identificazione e l'attuazione delle strategie di allevamento e di alimentazione più adatte a coniugare le necessità di produzione con gli obiettivi di riduzione dell'impatto ambientale connesso all'attività di allevamento (Franchini, 2004).

2.4 L'acido benzoico come strategia per ridurre le emissioni di ammoniaca

Una possibile strategia per ridurre la volatilizzazione dell'ammoniaca presente nelle deiezioni è l'acidificazione, che può essere realizzata attraverso l'aggiunta diretta di un acido forte ai liquami al fine di abbassarne il pH. Ad esempio, Kai et al. (2008) hanno dimostrato che la diminuzione del pH a 5,5 mediante l'utilizzo di acido solforico ha determinato una rilevante riduzione del 70% delle emissioni di ammoniaca provenienti dagli impianti di produzione suinicola. Un'altra possibile alternativa per acidificare in modo indiretto i liquami prevede la manipolazione della dieta, la quale può influenzare le caratteristiche degli effluenti, con riflessi sull'intera sequenza di rilascio degli inquinanti. Per esempio, Guizhou et al. (2006) hanno appurato che l'integrazione del mangime con additivi acidificanti come acido benzoico all'1% è in grado di ridurre le emissioni provenienti dai liquami suini fino al 40%. È da notare che sia l'acidificazione dei liquami tramite acido solforico che l'integrazione di acido benzoico nell'alimentazione dei suini sono tecniche attualmente applicate in contesti commerciali (Eriksen et al., 2010). Infatti, l'impiego di acido benzoico come soluzione per mitigare la volatilizzazione di ammoniaca viene menzionato anche nelle Linee Guida del Bacino Padano, senza essere stato tuttavia ancora incorporato tra le Migliori Tecniche Disponibili (BAT).

L'acido benzoico ($C_7H_6O_2$) è l'acido carbossilico aromatico più semplice, caratterizzato da un gruppo carbossilico direttamente legato all'anello benzenico. Appare come un solido cristallino bianco, scarsamente solubile in acqua. È naturalmente presente nei tessuti vegetali e animali e può essere generato anche nei prodotti fermentati attraverso il metabolismo microbico. Viene sintetizzato industrialmente e incluso come conservante e/o agente aromatizzante nei prodotti alimentari, cosmetici, igienici e farmaceutici per le sue proprietà antibatteriche o antifungine. Viene inoltre utilizzato nell'alimentazione dei suini, in particolare per i suinetti svezzati, come antimicrobico promotore della crescita in sostituzione agli antibiotici (Hoeksma et al., 1993).

Grazie a diversi studi, inclusi approfondimenti condotti in vitro, tra cui quello condotto da Kristensen et al. (2009), è emerso che l'aggiunta dell'1% di acido benzoico ad una dieta per suini in fase di accrescimento ha prodotto una significativa acidificazione del pH urinario (circa 2 punti). Allo stesso modo, Kluge et al. (2010) hanno osservato una diminuzione del pH delle urine con l'aggiunta dello 0,5% di acido benzoico alla dieta delle scrofe. La diminuzione del pH urinario è stata riscontrata anche da Kluge et al. (2006), Sauer et al. (2009) e da Torrallardona et al. (2007) i quali affermano che l'aggiunta di acido benzoico allo 0,5% alla dieta determina un aumento della concentrazione di acido ippurico da 455 a 741 mg/100 ml ed una diminuzione del pH urinario di 0,5 punti. Questo fenomeno è spiegabile dalla presenza di acido ippurico nelle urine, il quale contribuisce all'abbassamento del pH urinario, con conseguente riduzione dell'attività dell'ureasi, la quale è strettamente influenzata dal pH (Buhler et al., 2006).

Un pH urinario ridotto può essere efficace nel ridurre le emissioni NH_3 in quanto è uno dei fattori più importanti che ne governano la volatilizzazione dal letame (figura 10), e per questo ha il potenziale di contribuire significativamente alla mitigazione dell'inquinamento ambientale associato all'industria suinicola.

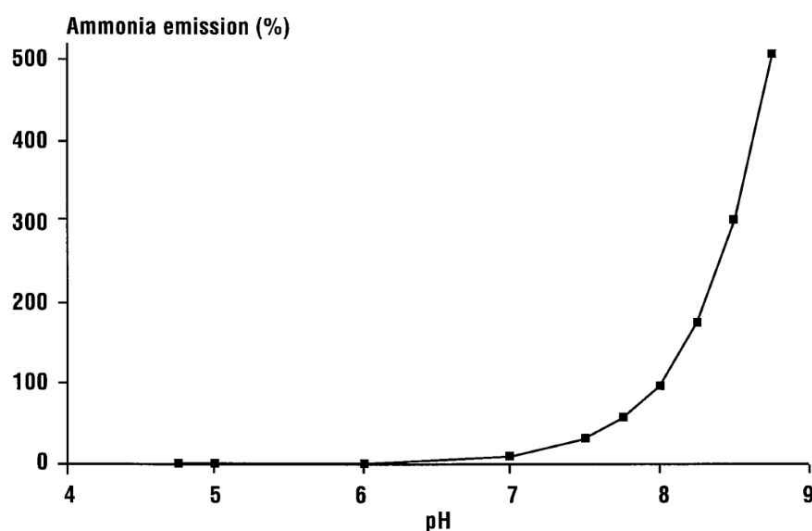


Figura 10: Relazione teorica tra pH ed emissioni di ammoniaca (fonte: den Broke, 1999)

Più precisamente, l'abbassamento del pH urinario è il risultato dell'acido benzoico ingerito, che, diversamente da altri acidi organici, non viene ossidato ma subisce un processo di assorbimento nel primo tratto dell'intestino tenue. Successivamente, l'acido benzoico viene trasportato al fegato, dove viene convertito in acido ippurico tramite una reazione di coniugazione con l'amminoacido glicina per poi essere rapidamente escreto attraverso le vie urinarie (Bridges et al., 1970). Di conseguenza la concentrazione di acido ippurico presente nelle urine abbassa insieme al pH urinario anche il pH delle deiezioni con il quale le urine si mescolano (Murphy et al. 2011).

Fondamentalmente il meccanismo d'azione dell'acido benzoico verte sull'inibizione dell'attività dell'ureasi prodotta dai microrganismi presenti nelle deiezioni e sul condizionamento l'equilibrio chimico dei liquami a favore del lato sinistro $\text{NH}_4^+/\text{NH}_3$ che penalizza il rilascio di ammoniaca (Stevens et al. 1989).

Tuttavia, i risultati ottenuti dall'uso di diete addizionate con acido benzoico o calcio-benzoato possono variare e risultare talvolta incoerenti, soprattutto sulla possibilità che queste possano influenzare l'assorbimento di Ca e P, probabilmente anche a causa delle differenze nella concentrazione di minerali nelle diete, della presenza di acidi organici diversi dall'acido benzoico e dell'assenza o presenza di fitasi microbica nell'alimentazione (Gutzwiller et al., 2011).

L'utilizzo di acido benzoico come additivo per mangimi, autorizzato nell'alimentazione dei suini dal Regolamento 1138/2007/EC e rinnovato successivamente con il Regolamento (UE) 2018/1550, è

dunque stato già sperimentato come agente acidificante delle urine con risultati promettenti in alcuni paesi europei. Mancano tuttavia esperienze relativamente al suo impiego nell'allevamento del suino pesante, dove un suo utilizzo esteso all'intero ciclo di ingrasso può presentare alcune criticità. In particolare, se l'aggiunta di acido benzoico alla dieta può avere come effetto collaterale un aumento delle escrezioni di calcio e fosforo, oltre a una riduzione della densità ossea. Questo fatto può essere particolarmente rischioso nel caso del suino pesante per prosciutti Dop, il cui allevamento si protrae fino a 160-180 kg di peso, con sollecitazioni dell'apparato scheletrico maggiori rispetto al suino leggero.

Attualmente, data la limitata disponibilità di studi che abbiano indagato gli impatti dell'acido benzoico sugli equilibri di azoto, calcio e fosforo nel suino pesante italiano da ingrasso, emerge la necessità di condurre ulteriori ricerche per esaminare in dettaglio la questione così da valutarne concretamente gli effetti sull'equilibrio minerale e sulla riduzione delle emissioni di ammoniaca dal liquame in questa specifica categoria di animali.

2.4.1 L'effetto dell'alimentazione acidificante a lungo termine sull'equilibrio minerale e sulla mineralizzazione ossea

L'acidificazione dei liquami attraverso la manipolazione dietetica del pH urinario è un mezzo per mitigare l'impatto ambientale associato alla produzione suina. È stato infatti precedentemente dimostrato che la somministrazione 10 g di acido benzoico (BA) per kg di alimento ai suini abbassa il pH delle urine riducendo l'emissione di ammoniaca fino al 40% (Guiziou et al., 2006, Murphy et al., 2011). Tuttavia, gli effetti a lungo termine dell'acidificazione della dieta sulla mineralizzazione ossea e sull'equilibrio minerale sono meno studiati. Infatti, il potenziale rischio associato all'integrazione delle diete con acido benzoico si attribuisce al possibile impatto di questo additivo sull'omeostasi acido base dell'organismo e quindi ad una eventuale compromissione dell'integrità ossea.

L'equilibrio cationico-anionico della dieta è un elemento importante capace di influenzare anche lo stato acido-base negli animali. Il mantenimento di un pH ematico costante è un fattore critico per le normali funzioni biologiche e, pertanto, l'acidità urinaria è il risultato della regolazione renale dell'equilibrio acido-base nel corpo inseguito ad integrazione con acido benzoico (Patience et al., 1987, Tucker et al., 1988, Haydon e West, 1990, Kienzle et al., 1991, Kemme-Kroonsberg, 1993). L'instaurarsi di una condizione di acidosi cronica potrebbe ad esempio stimolare il riassorbimento osseo da parte degli osteoclasti e compromette la mineralizzazione ossea (Arnett, 2003). Ciò comporta la mobilitazione di minerali, come il fosforo, dall'osso per mantenere l'equilibrio acido-base nel corpo. In altri casi, invece, per mantenere l'elettroneutralità e eliminare ioni di idrogeno dal flusso sanguigno, si potrebbe verificare un aumento del pH ematico, che induce l'instaurarsi di uno stato di alcalosi metabolica che limita la capacità di mantenere la normocalcemia. Sauer et al. (2009) hanno per esempio osservato che l'acido benzoico ha aumentato quadraticamente ($P < 0,05$) il pH del sangue da 7,51 a 7,65 a 20 giorni dall'inizio della somministrazione. Probabilmente a causa di un'aumentata capacità di clearance dell'acido a livello renale.

I potenziali effetti dell'acido benzoico riportati sull'equilibrio minerale sono però pochi e incoerenti. Tant'è che ad esempio, gli effetti di questo additivo sui segmenti ossei dei suini in crescita-finissaggio

riportati in uno studio condotta da Bühler et al. (2010) risultano equivoci: l'acido benzoico tendeva a ridurre la concentrazione di ceneri nelle ossa metatarsali, ma non influenzava la resistenza alla rottura della tibia, nonostante una densità minerale ossea tibiale significativamente ridotta. Al contrario in altri casi (Sauer et al., 2009; Gutzwiller et al., 2011; Gutzwiller et al., 2014) viene riportata la totale assenza di qualsiasi influenza negativa sulla concentrazione di ceneri ossee e sulla resistenza alla rottura nei suini di peso rispettivamente di 40 e 60 kg.

Poiché la scelta e la valutazione delle soluzioni in grado di ridurre le emissioni in atmosfera di azoto e più in generale “l'impatto ambientale” si basano oltre che sull'efficacia anche sul benessere animale oltre che su un'analisi dei costi e dei benefici è fondamentale chiarire l'effetto dell'inclusione alimentare di acido benzoico come valido strumento per ridurre l'impronta ambientale dell'industria suina così da poter garantire che anche i requisiti macrominerali e l'efficienza produttività siano appropriatamente soddisfatti.

3. LE MOTIVAZIONI DEL PROGETTO DI RICERCA

Questa tesi si inserisce all'interno di un progetto di ricerca il cui scopo era di valutare le conseguenze produttive ed ambientali di diete integrate con acido benzoico nell'allevamento del suino pesante. Più precisamente il proposito del piano PigBen, finanziato dal Psr 2014-2020 della Regione Emilia-Romagna, coordinato dal CRPA di Reggio Emilia in collaborazione con il CREA-ZA di Modena, è stata quella di valutare come l'inclusione di acido benzoico nelle diete destinate ai suini pesanti fino al momento della macellazione e l'adozione di diete a ridotto contenuto proteico arricchite con amminoacidi di sintesi (strategie alimentari – Bat 3), potessero contribuire alla riduzione delle emissioni di ammoniaca nella fase di allevamento, nonché di stabilire se tali interventi nutrizionali fossero da considerarsi tra loro alternativi o complementari. Le attività sperimentali hanno dunque indagato i potenziali effetti dell'acido benzoico addizionato a diete a basso contenuto proteico rispetto a diete a contenuto proteico standard, sulle prestazioni produttive dei suini, sulle condizioni di salute e sulla qualità delle carni prodotte.

In estrema sintesi le diverse iniziative del Piano miravano ad ottenere i seguenti risultati:

- Valutazione quantitativa della riduzione delle emissioni di ammoniaca ottenibile attraverso l'impiego di acido benzoico nell'alimentazione del suino pesante, sia tra diete con e senza aggiunta dell'1% di acido benzoico, sia se confrontato in diete a basso tenore proteico rispetto a diete a tenore proteico standard.

Valutazioni zootecniche mediante analisi della resa dell'azoto, delle escrezioni azotate (bilancio dell'azoto), degli indici di conversione alimentare (kg mangime/kg carne), della possibile insorgenza di alterazioni muscolo-scheletriche (ad esempio, zoppie), nonché del contenuto di minerale nell'osso.

- Fornire indicazioni sull'applicabilità dell'acido benzoico nell'alimentazione del suino pesante, in considerazione ad eventuali effetti sul metabolismo osseo.

Fondamentalmente, le finalità operative del Piano di Innovazione PigBen hanno risposto al "fabbisogno F22": "Buone pratiche di gestione e investimenti per ridurre le emissioni nei processi produttivi agricoli, in particolare zootecnici", individuati nell'analisi del PSR nell'ambito della priorità ambientale generale P5D "Ridurre le emissioni di gas a effetto serra e di ammoniaca prodotte dall'agricoltura", in cui si iscrive l'obiettivo specifico della Focus Area 5D: "sostenibilità e giustificabilità sociale degli allevamenti: riduzione o cattura delle emissioni di GHG e ammoniaca". Il piano difatti si proponeva di mitigare le emissioni di ammoniaca negli allevamenti suinicoli attraverso l'adozione di nuovi interventi mirati sulla dieta degli animali capaci di condizionare le caratteristiche degli effluenti con effetti positivi lungo l'intera catena emissiva.

Il progetto era altresì allineato agli obiettivi e alle tematiche del Partenariato europeo per l'innovazione PEI AGRI "Produttività e sostenibilità dell'agricoltura", che mirano essenzialmente a promuovere la produttività, l'efficienza e la sostenibilità dell'agricoltura, con un forte focus sulla riduzione degli impatti ambientali. Fondamentalmente, la sperimentazione perseguiva quindi l'intento di garantire una maggiore sostenibilità ambientale nel contesto dell'allevamento suinicolo attraverso la riduzione delle emissioni, esattamente come previsto dalle direttive e dalle ambizioni

dei programmi europei.

L'intento della seguente tesi, dunque, è di fornire i dettagli sull'analisi delle dinamiche produttive ed ambientali connesse all'uso di acido benzoico nelle diete dei suini pesanti, e più in generale di contribuire alla comprensione di come le scelte alimentari e delle pratiche sostenibili possano influire sulle emissioni di ammoniaca, sulle performance produttive e sul contesto ambientale circostante.

L'obiettivo ultimo è, inoltre, quello di promuovere l'adozione di soluzioni zootecniche sostenibili e l'attuazione di strategie alimentari oculate per ridurre l'impatto ambientale generato dall'industria suinicola.

3.1 Materiali e metodi

ANIMALI E DIETE

La sperimentazione è stata condotta su 264 suini d'incrocio Duroc Italiana x Large White italiana, distribuiti il più omogeneamente possibile per peso e nidiata di provenienza in 2 gruppi sperimentali: controllo e trattato con 1% di acido benzoico. Le attività sono state condotte su 2 cicli di allevamento: un ciclo invernale (agosto-gennaio), in cui 144 suini sono stati alimentati con diete a basso tenore proteico, e uno estivo (febbraio-luglio), nel quale 120 suini sono stati alimentati con diete a tenore proteico standard. Le diete a bassa proteina sono state scelte per il ciclo invernale poiché si prevedeva che comportassero emissioni di ammoniaca inferiori rispetto a quelle associate alle diete ad alta proteina. Questa previsione è dovuta al fatto che, durante il ciclo invernale, la limitata ventilazione tende ad aumentare la concentrazione di ammoniaca negli ambienti di stabulazione, rendendo percepibili anche le emissioni di modesta entità. Per contro, emissioni provenienti da diete a tenore proteico standard sono rilevabili anche in condizioni di alta ventilazione e basse concentrazioni di gas. Il confronto era comunque sempre tra diete con e senza aggiunta dell'1% di acido benzoico, come mostrato di seguito:

Monitoraggio di due cicli di ingrasso



Ciascun gruppo sperimentale era composto rispettivamente di 72 capi il primo (12 animali per box), e 60 capi il secondo (10 animali per box), metà maschi castrati e metà femmine intere, suddivisi per sesso e per peso iniziale così da minimizzare gli effetti della competizione al truogolo e garantire l'accesso a tutti in contemporanea. Gli animali sono stati alloggiati in tre ambienti separati dotati di

ingressi e uscite dell'aria indipendenti (per la misurazione delle portate di ventilazione e delle concentrazioni di ammoniaca nell'aria in ingresso e in uscita), ognuno dei quali costituito da due box, uno per sesso, aventi 13 m² di superficie utile per la stabulazione dei suini nelle fasi di ingrasso/finissaggio. In totale, sono quindi state allestite sei sale distinte: tre per il gruppo di controllo e tre per il gruppo alimentato con diete additivate di acido benzoico (figura 11).

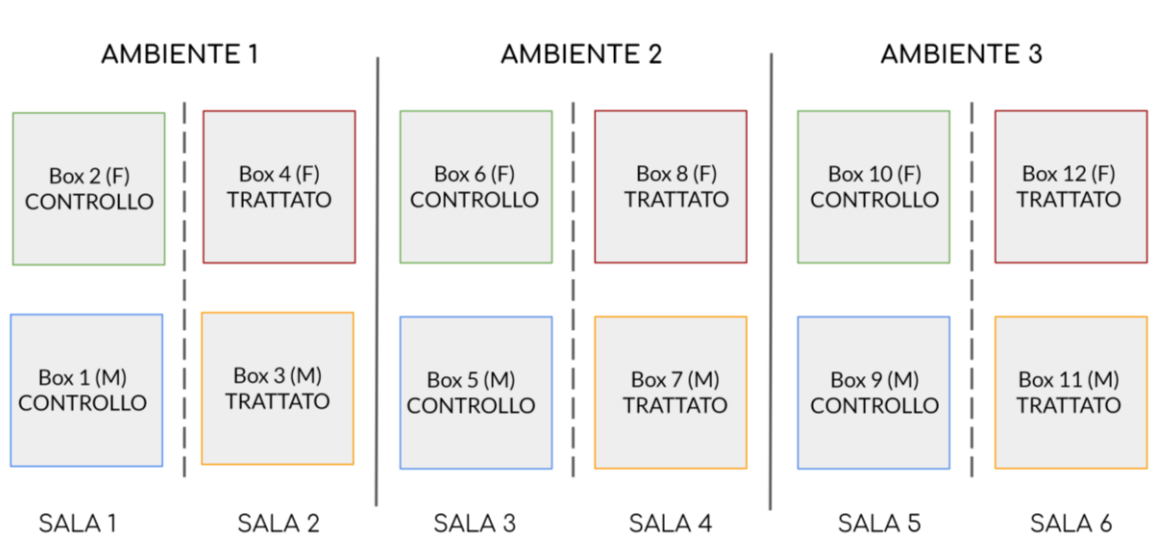


Figura 11: Layout della prova sperimentale

I box presentavano una pavimentazione interamente fessurata, provvista di una fossa sottostante predisposta alla raccolta e allo svuotamento delle deiezioni mediante la tecnica di "vacuum system", la quale garantisce frequenti ed efficaci rimozioni delle deiezioni. Ogni box era inoltre dotato di una fossa completamente scollegata dalle altre che ha reso possibile la raccolta e il campionamento differenziato delle deiezioni provenienti da ogni singolo box, e di conseguenza, da ciascun gruppo di animali.

La ventilazione all'interno delle sale era invece garantita da estrattori a muro, regolati da un sistema di controllo centralizzato programmato per mantenere la temperatura interna entro il range di comfort termico ottimale per gli animali.

Gli animali sono stati alimentati a bagnato con rapporto acqua:mangime di 2,5:1, in due pasti giornalieri, con a disposizione due abbeveratoi per ogni box. Per ciascun ciclo sono state elaborate tre formulazioni di mangime, somministrate per fasi, in funzione al peso vivo raggiunto dagli animali (tabella 2). Sono state impiegate formulazioni identiche per entrambe le condizioni sperimentali ma nella tesi trattato 1 kg di orzo per quintale di mangime (dose 1%) è stato sostituito da 1 kg di acido benzoico.

Tabella 3: Formulazione dei mangimi per i due cicli (bassa e alta proteina) e per le 3 fasi alimentari

	Peso animali [kg]	1° Ciclo invernale bassa proteina			2° Ciclo estivo alta proteina		
		30-80	80-120	120-170	30-80	80-120	120-170
Mais	%	56,00	56,00	58,54	48,50	53,00	54,00
Orzo	%	28,50	28,50	29,50	22,00	22,00	25,50
Crusca	%	7,00	7,00	6,00	7,00	7,00	7,00
Soia 48	%	-	-	-	19,50	15,00	10,50
Farina glutinata di mais	%	4,50	4,50	2,00	-	-	-
L-lisina	%	0,60	0,60	0,49	-	-	-
DL-metionina	%	0,01	0,01	0,01	-	-	-
L-treonina	%	0,12	0,12	0,10	-	-	-
L-triptofano	%	0,07	0,07	0,06	-	-	-
Carbonato calcio	%	1,10	1,10	1,20	1,20	1,20	1,20
Fosfato bicalcico	%	1,20	1,20	1,20	0,90	0,90	0,90
Cloruro di sodio	%	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
Integratore oligominerale- vitaminico	%	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50

Caratteristiche chimiche dei mangimi							
Protidi grezzi	%	12,21	10,82	9,66	16,15	14,46	12,83
Energia digeribile	kcal/kg	3.209	3.182	3.163	3.129	3.128	3.101
Calcio	%	0,77	0,81	0,77	0,80	0,78	0,77
Fosforo	%	0,54	0,53	0,52	0,54	0,53	0,51
Fosforo digeribile	%	0,25	0,25	0,25	0,23	0,23	0,22
Lisina	%	0,82	0,71	0,59	0,80	0,68	0,57
Lisina digeribile	%	0,74	0,64	0,52	0,69	0,58	0,47

RACCOLTA E ANALISI DEI CAMPIONI

Per le valutazioni zootecniche sulle condizioni degli animali i capi sono stati pesati individualmente ogni 28 giorni fino al raggiungimento del peso di macellazione di circa 170 kg. Contestualmente ad ogni rilevazione del peso vivo sono stati calcolati gli indici di conversione alimentare. Quotidianamente è stato condotto un monitoraggio dello stato di salute degli animali, registrando puntualmente eventuali segni di zoppia ed il relativo decorso.

Al raggiungimento del peso di circa 170 kg gli animali sono stati sottoposti a macellazione secondo le ordinarie procedure e successivamente sono stati rilevati il peso della carcassa per la resa di macellazione, la percentuale di carne magra ed il peso delle cosce staccate. Sui muscoli semimembranoso e bicipite femorale sono stati inoltre rilevati il pH a 45' ed a 24 ore dalla macellazione.

Da ogni suino è stato prelevato il terzo metatarso sinistro sul quale sono stati determinati il contenuto di calcio e fosforo per valutare possibili effetti dell'acido benzoico sul metabolismo osseo. La procedura prevedeva che per ciascun capo venisse raccolto lo zampetto sinistro posteriore, posto in autoclave per 30 minuti a 120°C per ripulirlo completamente dalla pelle, i muscoli e il tessuto connettivo, e rimuovere così il terzo metatarso. Dopo la rimozione, i metatarsi sono stati

nuovamente ripuliti da eventuali residui di carne. Le ossa sono state successivamente analizzate per le concentrazioni di ceneri, Ca e P, come descritto da Brady et al. (2002). Ogni campione è stato incenerito a 550°C in muffola per 10 ore e la cenere è stata digerita in acido cloridrico 2 mol/L. Questa soluzione è stata utilizzata per la determinazione di P e Ca. La concentrazione di Ca è stata determinata utilizzando uno spettrofotometro ad assorbimento atomico Varian "50". La concentrazione di P è stata invece determinata mediante spettrofotometria utilizzando il metodo dell'acido ascorbico.

Il rilevamento dei dati è stato effettuato su tutti i suini.

Al fine di misurare gli effetti sulle emissioni di ammoniaca nella fase di stabulazione le sale sono state equipaggiate con strumentazioni volte al monitoraggio delle condizioni ambientali attraverso il rilevamento delle temperature e dell'umidità relativa interne agli ambienti, delle concentrazioni di ammoniaca nell'aria estratta dal ricovero e delle portate di ventilazione.

Per monitorare la quantità di aria estratta dalle 6 sale sono stati installati, sulle pale dei ventilatori, dei sensori di frequenza allacciati ad un sistema di registrazione. La correlazione esistente tra la frequenza di rotazione delle pale e la velocità dell'aria, valutata attraverso l'utilizzo di un anemometro posizionato nei punti di misura specificamente individuati in conformità con la normativa UNI 10169, ha reso possibile la misurazione in continuo della portata di ventilazione delle tre sale.

Le condizioni microclimatiche, ovvero le temperature e l'umidità relativa dell'aria all'interno delle sale, sono state oggetto di monitoraggio e registrazione a intervalli orari mediante l'utilizzo di sensori di temperatura e umidità relativa collocati a un'altezza di circa 2 metri al centro di ciascuna sala.

La concentrazione di ammoniaca è stata misurata attraverso l'impiego di due diversi strumenti: il primo, il Multi Gas Monitor prodotto dalla Bruel & Kjaer (Innova) che consente la rilevazione in continuo per poter tracciare le variazioni orarie, il secondo con sistemi a gorgogliamento in soluzione di acido solforico, approccio che consente di quantificare l'ammoniaca presente nell'aria, trattenendola nella soluzione acida. Tali sistemi hanno permesso la totalizzazione delle emissioni su base giornaliera, rivelando anche differenze di modesta entità tra le diverse condizioni sperimentali confrontate. Più precisamente, nel primo caso, mediante tubi in teflon coibentati, un campionatore sequenziale ha provveduto al prelievo di campioni d'aria da ciascuno dei punti attrezzati con anemometro. Successivamente, tali campioni sono stati sottoposti ad analisi tramite l'utilizzo di un analizzatore Ir fotoacustico. Nel secondo caso, invece, la concentrazione di ammoniaca presente nella soluzione è stata determinata mediante titolazione dell'azoto ammoniacale con metodo Kjeldahl.

È stato successivamente possibile calcolare le emissioni di ammoniaca moltiplicando la concentrazione di NH₃ alla bocca del ventilatore per la portata di ventilazione (m³/sec).

Le emissioni sono state monitorate in quattro periodi durante il ciclo di ingrasso, ciascuno della durata di sette giorni (una settimana ogni 45 giorni per tutto il ciclo). Durante l'intera campagna di monitoraggio sono state mantenute le medesime modalità di stabulazione, rimozione degli effluenti e condizioni ambientali.

Per quantificare e valutare come le diete e le strategie alimentari potessero influenzare le caratteristiche degli effluenti prodotti, al termine del ciclo di ingrasso sono stati prelevati campioni

di liquame dalle fosse di stoccaggio così da effettuare le analisi chimiche relative a: pH, solidi totali, solidi volatili, azoto totale e azoto ammoniacale. In particolare, i dati sul bilancio dell'azoto sono stati calcolati come segue:

- Ritenzione di N (kg/box/a) = (assunzione di N – escrezione totale di N)
- Ritenzione di N come proporzione dell'assunzione = (ritenzione di N/assunzione di N).

Campionamento complessivo:

- N° campioni liquame: 2 campagne x 12 box = 24
- N° campioni soluzioni acide: 4 periodi x 6 sale x 4 giorni x 2 cicli = 192

DISEGNO SPERIMENTALE

Periodo	gruppo 1	gruppo 2	Diete
1: 3 agosto- 11 gennaio	trattato (1% AB)	controllo (senza AB)	basso tenore proteico
2: 8 febbraio - 18 luglio	trattato (1% AB)	controllo (senza AB)	tenore proteico standard
RILEVAMENTI	ICA, qualità delle carni, contenuto di calcio e fosforo, campioni di liquami e di soluzioni acide		

Tabella 4: Disegno sperimentale

ANALISI STATISTICA

I dati raccolti relativi all'allevamento, alle prestazioni produttive in vita, alle analisi sull'osso, alla caratterizzazione chimico-fisica degli effluenti e sulle emissioni di ammoniaca sono stati esaminati mediante l'analisi della varianza (ANOVA) con la procedura GLM del SAS (Statistical Analysis System) versione 9.4 per Windows (SAS Institute Inc., Cary, NC.) e test della significatività a posteriori di Bonferroni. Il modello prevedeva la dieta (presenza/assenza di acido benzoico) come variabile sperimentale e il sesso ed il peso vivo iniziale come fattori di blocco, come segue:

$$Y_{ijk} = M + D_i + P_j + S_k + (DS)_{ik} + E_{ijk}$$

Dove:

Y_{ijk} = dipendente variabile osservata sul k^{mo} soggetto del ij^{mo} sottogruppo;

M = media generale;

D_i = tesi (i = 1, 2);

P_j = peso (j = 1, 2, 3);

S_k = sesso (k = 1, 2);

$(DS)_{ik}$ = interazione tesi x sesso;

E_{ijk} = errore sperimentale.

L'analisi della varianza è un test statistico necessario per verificare se i valori di una o più variabili quantitative (dette variabili dipendenti) sono influenzate o meno dalle modalità assunte da una o più variabili qualitative o quantitative (dette fattori o variabili indipendenti). Per eseguire questa valutazione vengono comparati i valori medi delle variabili dipendenti all'interno di gruppi di dati omogenei rispetto alle variabili indipendenti considerate, con l'obiettivo di stabilire se esistono differenze significative tra tali valori medi o se le divergenze riscontrate sono attribuibili ai soli fattori casuali. Le variabili che differivano per $P \leq 0.05$ e $P \leq 0.01$ e quindi con valori che risultavano significativi, sono state testate con il test di Bonferroni rispettivamente con un livello di significatività teorico $\alpha = 0.05$ e $\alpha = 0.01$.

3.2 Risultati zootecnici

Tutti gli animali sono stati pesati all'inizio del ciclo, poi ogni 28 giorni fino al termine della prova prima della consegna al macello al raggiungimento di circa 180 kg. Sulla base di questi dati e la quantità di alimento fornito sono state calcolate le caratteristiche di produzione quali accrescimenti medi giornalieri (g/d) e conversione alimentare (ICA).

Le caratteristiche finali (accrescimento giornaliero medio totale, ICA medio totale) sono state successivamente analizzate statisticamente mediante l'analisi della varianza (SAS, 1990) per determinare se le differenze tra il gruppo sperimentale e il gruppo di controllo fossero casuali o meno.

Al macello i due gruppi sono stati trasportati in due lotti differenti per la rilevazione di alcune caratteristiche qualitative e produttive come il peso della carcassa per la resa di macellazione, la percentuale di carne magra ed il peso delle cosce staccate, oltre al pH a caldo e a freddo. Immediatamente dopo la macellazione (45 minuti dopo) è stato infatti misurato il pH della carne di ciascun suino nel muscolo semi membranoso e nel bicipite femorale. Ventiquattro ore dopo la

macellazione, il pH della carne di ciascun suino è stato misurato nella cella frigorifera, negli stessi punti precedentemente valutati.

Anche in questo caso le caratteristiche di peso della carcassa per la resa di macellazione, la percentuale di carne magra ed il peso delle cosce staccate, pH a caldo, pH a freddo e la differenza tra pH a caldo e a freddo sono state valutate statisticamente mediante analisi della varianza (SAS) secondo il modello precedentemente descritto.

La tabella 5 mostra il confronto tra le prestazioni produttive dei gruppi controllo e trattato per l'intero ciclo invernale ed estivo. Dai dati riportati, emerge che solo nel periodo iniziale, i primi 56 giorni di prova, gli animali del gruppo trattato hanno presentato un tasso di accrescimento leggermente inferiore. Tuttavia, nei periodi successivi, vale a dire tra il giorno 56 e il giorno 112, a pesi intermedi di 140 kg e nella fase finale di ingrasso fino al peso di macellazione di 170 kg, non sono emerse differenze significative nei tassi di accrescimento medi giornalieri né nella conversione del mangime tra i due trattamenti.

Le prestazioni produttive complessive fino al termine del periodo di ingrasso non evidenziano dunque differenze significative tra gli animali alimentati con diete standard rispetto quelli che hanno ricevuto la dieta con l'integrazione di acido benzoico in entrambi i cicli di produzione, le prestazioni tra i due gruppi sono risultate pertanto sostanzialmente sovrapponibili.

I risultati ottenuti in questo esperimento si discostano, dunque, nettamente da quelli di un altro studio condotto da van der Peet-Schwering et al. (1999), in cui, al contrario, l'aggiunta dell'1% di acido benzoico nella dieta dei suini in fase di accrescimento-finissaggio ha portato a un considerevole aumento di peso e a un significativo miglioramento delle capacità di conversione alimentare. Anche in altri studi, come quelli di Bühler et al. (2006) e Galassi et al. (2011), diversamente da quanto emerso in questo studio, l'acido benzoico ha aumentato la ritenzione di azoto e la digeribilità dei nutrienti migliorando le performance di crescita quando le diete con l'1% di acido organico venivano somministrate nella fase di ingrasso e finissaggio.

Al contrario, nella seguente esperienza, sia nel periodo di alimentazione invernale che in quello estivo, le escrezioni di azoto erano strettamente correlate al tenore proteico delle diete somministrate. La ritenzione relativa di azoto, espressa come percentuale dell'azoto introdotto, non è risultata significativamente diversa tra le due tesi. Tuttavia, nel gruppo trattato della dieta a bassa proteina si è verificata una significativa riduzione dell'escrezione azotata ($P < 0,05$), sia per capo che per box, rispetto al gruppo di controllo.

Tabella 5: Prestazioni produttive in vita del I e del II ciclo di ingrasso

		1° Ciclo			2° Ciclo		
		Invernale Bassa Proteina			Estivo Alta Proteina		
		CONTROLLO	TRATTATO	Diff. (*)	CONTROLLO	TRATTATO	Diff. (*)
Peso iniziale	kg	49,3	49,5	n.s.	61,7	61,9	n.s.
Peso a 56 d	kg	94,5	92,9	P< 0,01	86,9	87,1	n.s.
Accrescimento (periodo 1-56 d)	g/d	807	773	P< 0,01	903	898	n.s.
ICA (periodo 1-56 d)		2,55	2,65	P< 0,01	2,36	2,37	n.s.
Peso a 112 d	kg	142,9	141,5	n.s.	136,4	136,5	n.s.
Accrescimento (periodo 57-112 d)	g/d	864	869	n.s.	884	885	n.s.
ICA (periodo 57-112 d)		3,53	3,5	n.s.	3,26	3,25	n.s.
Peso finale	kg	185,8	185	n.s.	177,4	177,8	n.s.
Accrescimento (112 d– macellazione)	g/d	769	777	n.s.	744	751	n.s.
ICA (112 d – macellazione)		4,23	4,19	n.s.	4,34	4,3	n.s.
Accrescimento giornaliero totale	g/d	813	806	n.s.	832	834	n.s.
ICA medio totale		3,42	3,45	n.s.	3,44	3,43	n.s.
Azoto ingerito per box	kg	89,5	88,1	P<0,01	87,3	87,3	n.s.
Azoto fissato per box	kg	39,3	39	n.s.	27,8	27,8	n.s.
Resa dell'azoto	%	43,9	44,3	n.s.	31,9	31,8	n.s.
Azoto escreto per box per ciclo	kg	50,2	49,1	P<0,05	59,5	59,4	n.s.
Azoto escreto per capo per ciclo	kg	4,18	4,09	P<0,05	5,95	5,94	n.s.

*Test della significatività: n.s = non significativo

Per quanto concerne lo stato di salute degli animali, in vita non è stato riscontrato alcun caso di zoppia ed anche al macello, in seguito alle valutazioni sulla qualità delle carni, non sono state constatate differenze tra i controlli rispetto gli animali trattati in termini di rese delle carcasse, pH a caldo e pH a freddo. A seguito del rilevamento dei difetti, eseguito durante il processo di rifilatura delle cosce, sono stati individuati 1-2 casi di rottura dell'anchetta per entrambe le tesi, che, ad ogni modo, si è concluso non essere correlati al trattamento sperimentale. Non si sono verificati invece casi di distacco della testa del femore in nessuno dei due cicli. L'aggiunta dell'1% di acido benzoico non ha avuto di conseguenza alcun evidente impatto negativo sul benessere degli animali.

La maggior parte del calcio (Ca) e del fosforo (P) presenti all'interno dell'organismo risiedono nel tessuto scheletrico (Crenshaw, 2001). Poiché dal metabolismo di questi minerali dipende l'equilibrio di quello osseo, l'analisi delle ceneri ossee è stata impiegata, in questo studio, come procedura standard per determinare la deposizione di Ca e P (Cromwell, 1992; NRC, 1998).

Da una sperimentazione condotta sui suini da Lee et al. (2021), è emerso che i coefficienti di correlazione tra il peso delle ceneri ossee di metacarpi, metatarsi e tibia ed il peso delle ceneri ossee totali del corpo erano migliori (>0,95) rispetto a quelli riscontrati in altre componenti ossee (es. costole), le quali presentavano coefficienti di correlazione inferiori. In questo stesso studio, in seguito ad un'analisi comparativa effettuata su campioni di metacarpi, metatarsi e tibia, le specifiche caratteristiche fisiche dei metacarpi e dei metatarsi hanno mostrato una maggiore sensibilità alle variazioni dei livelli di calcio (Ca) e fosforo (P) nella dieta, delineandosi così come indicatori più affidabili delle condizioni del metabolismo osseo (in termini di cenere ossea totale).

Da ogni suino è stato quindi prelevato il terzo metatarso sinistro, sul quale sono stati determinati il contenuto di calcio e fosforo per valutare possibili effetti dell'acido benzoico sull'equilibrio minerale. L'analisi del metatarso ottenuto da ciascuno zampetto posteriore ha evidenziato, come mostrato nella tabella 6, un maggiore contenuto di minerali (espresso come percentuale di ceneri) nelle ossa del gruppo di controllo, associato ad una maggiore concentrazione di calcio; in entrambi i cicli, infatti, il rapporto calcio/fosforo è risultato maggiore nel gruppo di controllo rispetto al trattato. In virtù dell'elevato numero di campioni analizzati (264 campioni in totale) le differenze osservate in seguito alle analisi condotte sull'osso metatarsale sono risultate statisticamente significative, benché di modesta entità.

Tabella 6: Analisi dell'osso metatarsale

		1^ Ciclo Invernale Bassa Proteina			2^ Ciclo Estivo Alta Proteina		
		Controllo	Trattato	Diff.	Controllo	Trattato	Diff.
Ceneri su osso	%	40,00	39,50	n.s.	42,78	41,41	P<0,01
Fosforo su osso	%	6,31	6,36	n.s.	6,59	6,52	n.s.
Fosforo su ceneri	%	15,80	16,10	P<0,01	15,41	15,73	P<0,01
Calcio su osso	%	12,50	12,20	n.s.	13,34	12,97	P<0,05
Calcio su ceneri	%	31,10	30,80	P<0,05	31,32	31,18	n.s.
Calcio/Fosforo		1,98	1,91	P<0,01	2,02	1,99	P<0,01

3.2.1 Risultati ambientali

Lo scopo del campionamento differenziato per box dei liquami era quello di quantificare e caratterizzare, dal punto di vista chimico-fisico, le deiezioni prodotte dai suini alimentati con le diverse diete al fine di valutare l'effetto del trattamento sperimentale su quei parametri che influenzano le emissioni di ammoniaca, tra cui: pH, sostanza secca (ST), sostanza organica (SV), azoto totale Kjeldahl (NTK) e azoto ammoniacale (N-NH₄⁺).

Il giorno successivo al termine del ciclo di allevamento, al momento dell'avvio degli animali al macello, si è quindi provveduto a sollevare i fessurati e a miscelare gli effluenti presenti nelle fosse per quantificare e campionare il liquame prodotto al netto delle acque di lavaggio, meteoriche ed eventuali altri apporti idrici. Le analisi chimico fisiche eseguite su 24 campioni hanno permesso di elaborare i risultati riportati in tabella 6. Dall'indagine è emerso che la quantità di liquami (espressa in m³/t p.v./anno) è risultata significativamente diversa (p<0,05), ovvero maggiore nel gruppo trattato

rispetto al gruppo controllo nel ciclo invernale, mentre non è stata riscontrata alcuna differenza significativa tra i gruppi del ciclo estivo. È inoltre importante notare che gli effluenti estivi risultano più diluiti rispetto a quelli invernali. Tale diluizione dipende da diversi fattori, tra cui l'incremento del consumo d'acqua dovuto alle temperature stagionali più elevate, nonché il maggiore tenore proteico presente nella dieta, che richiede un aumento della quantità d'acqua necessaria per l'escrezione dell'azoto in eccesso tramite via urinaria. Il volume di liquame prodotto in relazione alle diverse diete (tabella 6) offre invece un ulteriore spunto di riflessione: le diete additivate di acido benzoico richiedono un maggiore apporto d'acqua da parte degli animali (+14% nel periodo invernale e +5% nel periodo estivo), incremento che risulta statisticamente significativo quando il fabbisogno idrico dovuto alle alte temperature si riduce.

Dai risultati presentati nella tabella 7, relativa alla caratterizzazione chimico-fisica dei liquami, si evince che il pH medio dei liquami del gruppo sottoposto alla dieta acidificante appariva sostanzialmente invariato sia durante il ciclo invernale che estivo. A fine periodo, l'effetto acidificante delle urine da parte dell'acido benzoico non è quindi risultato rilevabile in quanto il forte effetto tampone del liquame annulla l'effetto dell'acido.

Merita menzione il fatto che in questa sperimentazione gli effluenti estivi presentassero un minore rapporto di SV/ST (che misura la frazione dei solidi totali costituita da solidi volatili) pari al 64% contro il 71% riscontrato negli effluenti invernali, e da una maggiore quota di azoto ammoniacale rispetto al totale (80% vs 64%), ciò attesta quanto le temperature più elevate possano favorire i processi di decomposizione della sostanza organica e la conversione dell'azoto organico nella forma minerale. Per quanto riguarda l'influenza della dieta sul contenuto di azoto negli effluenti, sono emersi due risultati importanti. In primo luogo, nel ciclo invernale, a differenza del ciclo estivo, è stata registrata una notevole riduzione del contenuto di azoto ammoniacale, espresso come rapporto di $N-NH_4^+/NTK$ (azoto ammoniacale/azoto totale). In particolare, nel gruppo trattato delle diete a bassa proteina, tale rapporto è risultato notevolmente inferiore ($P < 0,01$) pari al 51% rispetto al 64% del gruppo di controllo, mentre per entrambe le tesi del secondo ciclo è risultato essere dell'80%. Il secondo rilevante aspetto riguarda il valore dell'azoto totale, espresso come percentuale sul secco (NTK/ST), che consente di eliminare l'effetto della diluizione, il quale dimostra come la riduzione della proteina nella dieta (tabella 1 - valore medio di protidi grezzi delle tre fasi alimentari ridotto dal 14,4% al 10,9%) comporti una significativa diminuzione del contenuto di azoto sul secco negli effluenti, tant'è che nel primo ciclo, ad esempio, l'azoto totale rappresentava il $6,6\% \pm 1\%$ sulla sostanza secca, mentre nel ciclo estivo raggiungeva il $13,8\% \pm 2\%$.

Dai dati relativi alla quantificazione dell'azoto (tabella 8), calcolato a partire dalla sua concentrazione e dal volume di effluente, si evince chiaramente il ruolo sostanziale svolto dalla dieta nel ridurre l'azoto rinvenuto a fine periodo nelle fosse: 51 kg N/t p.v./anno per le diete bassa proteina rispetto i 72 kg N/t p.v./anno per le diete alta proteina.

Da notare che maggiore è la quota di azoto ammoniacale rispetto al totale e maggiore il contenuto di azoto negli effluenti, maggiore è la potenzialità dei liquami di emettere ammoniaca in atmosfera.

Tabella 7: Quantificazione degli effluenti

		1^ Ciclo Invernale Bassa Proteina Protidi grezzi: media delle 3 fasi 10,9% (3 ago - 11 gen)			2^ Ciclo Estivo Alta Proteina Protidi grezzi: media delle 3 fasi 14,4% (8 feb - 18 lug)		
		Controllo	Trattato	Diff.	Controllo	Trattato	Diff.
Durata media ciclo ingrasso	[giorni]	161	161	-	153	153	-
Età media del liquame	[giorni]	81	81	-	77	77	-
Produzione di liquami (*)	[litri/capo/giorno]	4,0 ± 0,5	4,7 ± 0,6	-14%	7,1 ± 1,9	7,5 ± 1,5	-5%
	[m³/t p.v./anno]	11,9 ± 1,6	13,9 ± 1,9	P<0,5	21,7 ± 5,8	22,8 ± 4,2	n.s.

(*) produzione rapportata al peso medio del capo nel periodo di monitoraggio e pari a 120 kg

Tabella 8: Effetto dieta - caratterizzazione chimico-fisica dei liquami prodotti

		1^ Ciclo Invernale Bassa Proteina			2^ Ciclo Estivo Alta Proteina		
		Controllo	Trattato	Diff.	Controllo	Trattato	Diff.
pH	[-]	7,1 ± 0,1	7,1 ± 0,2	n.s.	7,1 ± 0,1	7,1 ± 0,1	n.s.
Solidi Totali	[g ST/kg tq]	54,9 ± 7,3	56,9 ± 7,8	n.s.	26,0 ± 8,1	24,5 ± 8,3	n.s.
	[%tq]	5,5 ± 0,7	5,7 ± 0,8	n.s.	2,6 ± 0,8	2,5 ± 0,8	n.s.
Solidi Volatili	[g SV/kg tq]	39,4 ± 6,0	40,5 ± 6,4	n.s.	16,9 ± 5,9	16,0 ± 6,4	n.s.
	Rapporto SV/ST	71% ± 2%	71% ± 2%	n.s.	64% ± 4%	64% ± 4%	n.s.
Azoto Totale	[mg NTK/kg tq]	4293 ± 398	3736 ± 227	P<0,5	3446 ± 724	3266 ± 703	n.s.
	Rapporto NTK/ST	7,9% ± 1%	6,6% ± 1%	P<0,01	13,7% ± 2%	13,8% ± 2%	n.s.
Azoto Ammoniacale	[mg NTK/kg tq]	2731 ± 171	1916 ± 96	P<0,01	2729 ± 359	2571 ± 298	n.s.
	Rapporto N-NH ₄ ⁺ /NTK	64% ± 4%	51% ± 4%	P<0,01	80% ± 7%	80% ± 8%	n.s.

Tabella 9: Effetto dieta - azoto nei liquami a fine ciclo di ingrasso

		1^ Ciclo Invernale Bassa Proteina Protidi grezzi: media delle 3 fasi 10,9%			2^ Ciclo Estivo Alta Proteina Protidi grezzi: media delle 3 fasi 14,4%		
		Controllo	Trattato	Diff.	Controllo	Trattato	Diff.
Sostanza organica degradata nel periodo	[%]	37% ± 6%	38% ± 5%	n.s.	55% ± 6%	54% ± 9%	n.s.
Azoto	[kg N/t p.v./anno]	50,7 ± 2,4	51,8 ± 5,1	n.s.	72,0 ± 12,1	72,8 ± 12,2	n.s.

Il monitoraggio sui liquami (tabella 9) ha inoltre evidenziato un leggero effetto dell'acido benzoico nel ridurre l'azoto escreto, specialmente nel ciclo estivo ad alta proteina (-0,36 kg N/capo/anno nel I ciclo e 1,12 kg N/capo/anno nel II ciclo). Tuttavia, è opportuno precisare che tali differenze risultano non statisticamente significative se si considera l'azoto escreto calcolato da bilancio zootecnico. Al contempo, è stato registrato un leggero incremento della quantità di azoto rinvenuto nelle fosse a fine periodo (+0,12 kg N/capo/anno nel I ciclo e +0,10 kg N/capo/anno nel II ciclo) in entrambe le diete. Questo fatto può essere spiegato dalla capacità dell'acido benzoico di influenzare la volatilizzazione dell'ammoniaca.

Tabella 10: Effetto della dieta - azoto escreto

		1° Ciclo Invernale Bassa Proteina		2° Ciclo Estivo Alta Proteina			
		Controllo	Trattato	Controllo	Trattato		
Durata media del ciclo di ingrasso	giorni	161	161	153	153		
Periodo di vuoto	giorni	15	15	15	15		
Età media del liquame	giorni	81	81	77	77		
N escreto da monitoraggio							
N perso come emissioni NH ₃	kg N-NH ₃ /capo/anno	2,14	1,66	-0,58	6,0	4,78	-1,22
N trovato nelle fosse a fine ciclo	kg N fosse/capo/anno	5,96	6,08	+0,12	8,28	8,38	+0,10
N escreto da monitoraggio (N emesso + N liquame)	kg N/capo/anno	8,10	7,74	-0,36	14,28	13,16	-1,12
N escreto da bilancio zootecnico							
N ingerito per capo	Kg N/capo	7,46	7,34		8,73	8,73	
N fissato per capo	Kg N/capo	3,28	3,25		2,78	2,78	
N escreto da bilancio zootecnico	kg N/capo/anno	9,09	8,89	-0,20	13,61	13,59	-0,02
Delta bilancio/monitoraggio		11%	13%		-5%	3%	

Dal monitoraggio sulle emissioni di ammoniaca (tabella 11 e tabella 13) è stato chiaramente osservato l'effetto dell'acido benzoico su questo composto. L'inclusione dell'acido organico sia nella dieta a basso tenore proteico sia in quella a tenore proteico standard ha determinato una diminuzione delle emissioni di ammoniaca rispetto al controllo pari al 22% e al 20% rispettivamente per il primo e il secondo ciclo. La mitigazione delle emissioni di ammoniaca del gruppo trattato rispetto al controllo è stata registrata in tutte e quattro le settimane di monitoraggio di ogni ciclo, con una variazione dei valori che oscillavano da una riduzione minima di -5% a una massima di -38%. Per il ciclo estivo, nella sala in cui stabulavano i suini alimentati con la dieta integrata con l'1% di acido benzoico, l'emissione globale di ammoniaca è stata di 2.02 ± 0.46 kg per capo all'anno rispetto a 2.60 ± 0.30 kg/capo/anno nella sala di controllo. Per il ciclo estivo ad alta proteina, invece, l'ammoniaca emessa nell'intero ciclo di ingrasso è stata di 7.29 ± 1.86 kg per capo nella sala di controllo e di 5.80 ± 1.32 kg per capo nei suini che consumavano la dieta sperimentale. In termini più precisi, l'aggiunta dell'1% di acido benzoico nel mangime ha portato di conseguenza ad una riduzione delle emissioni di ammoniaca per suino di 0,580 kg di NH₃ per suino all'anno (-22%) nel primo ciclo e di 1,48 kg NH₃ per suino all'anno (-20%) nel secondo ciclo.

Un ulteriore fattore che è risultato decisivo nella riduzione delle emissioni di ammoniaca è il tenore proteico della dieta: Nel ciclo estivo, la dieta ad alto contenuto proteico ha mostrato una maggiore emissione media di ammoniaca, pari a 6,54 kg NH₃/capo/anno, rispetto a quella a bassa proteina, che è risultata meno emissiva con una media di 2,31 kg NH₃/capo/anno. È apprezzabile notare che il ciclo estivo si è rivelato più emissivo non soltanto a causa della maggiore quantità di proteine contenute nella dieta, ma è altresì stato influenzato dagli effetti delle temperature più elevate e delle maggiori portate dei sistemi di ventilazione all'interno delle sale (temperatura media del ciclo estivo: 24,8°C; temperatura media del ciclo invernale: 19,5°C), i quali, come precedentemente illustrato, incidono sulle emissioni di gas, in particolare l'ammoniaca. Si precisa che le emissioni ammoniacali espresse in kg NH₃/capo/a sono comprensive sia delle emissioni derivate dagli animali stessi e dall'imbrattamento delle superfici, che delle emissioni provenienti dall'effluente stoccato durante l'intero ciclo nella fossa sottostante al fessurato in quanto nella sperimentazione, la fossa di raccolta del liquame è stata svuotata soltanto a ciclo concluso per effettuare la caratterizzazione e la quantificazione degli effluenti prodotti.

Tabella 11: Parametri microclimatici nel Ciclo Invernale a Bassa Proteina

TESI	VENTILAZIONE	T. MIN	T. MED	T. MAX	RH	T. AMB	RH AMB
	m ³ /capo/h	°C	°C	°C	%	°C	%
Controllo	117.1	18.4	19.4	27.2	57.4	10.7	74.7
Trattato	89.3	18.2	19.7	26.1	57.1	10.7	74.7

Tabella 12: Fattori emissivi del Ciclo Invernale a Bassa Proteina

	Emissioni ammoniacali	N perso come emissioni di NH ₃
LP	2.60 ± 0.30 Kg NH ₃ /capo/a	2.14 Kg N/capo/a
LP + Ben	2.02 ± 0.46 Kg NH ₃ /capo/a	1.66 Kg N/capo/a
	0.58	0.48 Kg N/capo/a
	22%	

Tabella 13: Parametri microclimatici nel Ciclo Estivo ad Alta Proteina

TESI	VENTILAZIONE	T. MIN	T. MED	T. MAX	RH	T. AMB	RH AMB
	<i>m³/capo/h</i>	°C	°C	°C	%	°C	%
Controllo	193.6	17.7	24.9	33.0	55.0	20.6	61.8
Trattato	175.3	18.0	25.1	32.7	51.5	20.6	61.8

Tabella 14: Fattori emissivi del Ciclo Estivo ad Alta Proteina

	Emissioni ammoniacali		N perso come emissioni di NH ₃	
LP	7.29 ± 1.86	Kg NH ₃ /capo/a	6.00	Kg N/capo/a
LP + Ben	5.80 ± 1.32	Kg NH ₃ /capo/a	4.78	Kg N/capo/a
	1.48		1.22	Kg N/capo/a
	20%			

3.3 DISCUSSIONE

Tra i diversi obiettivi della sperimentazione condotta nell'ambito del progetto PigBen, vi era quello di valutare gli effetti dell'acido benzoico sulle prestazioni e sul benessere del suino pesante quando addizionato all'1% nelle diete; l'intento era di stabilire se la somministrazione dell'additivo avesse potenziali implicazioni sulla produttività complessiva dell'allevamento. In effetti, diverse fonti bibliografiche riportano pareri discordanti relativamente sia alla possibilità che l'inclusione di acido benzoico nella dieta possa determinare effetti positivi sul metabolismo dei nutrienti (Humphrey et al., 2022), sia ai potenziali effetti collaterali sulle condizioni di salute degli animali (ad esempio sulla densità ossea) qualora somministrato a lungo termine (Sauer et al., 2009; Bühler et al., 2010).

Dai risultati del seguente studio non è emerso un miglioramento delle prestazioni produttive dei suini qualora alimentati con diete integrate con acido benzoico. Tale esito sembra dunque essere in contrasto con gli effetti dello stesso additivo, riportati in altri studi in cui era stata invece dimostrata la capacità dell'acido organico di aumentare la digeribilità dei nutrienti (Bolduan et al., 1988; Eckel et al., 1992; Roth et al., 1998), migliorare gli accrescimenti e la conversione del mangime (van der Peet Schwing et al., 1999; den Brok et al., 1999). Peraltro, è ancora più rilevante specificare che le performances non sono nemmeno state influenzate negativamente dall'integrazione con l'acido organico, salvo in un breve periodo iniziale in cui sono stati registrati minori accrescimenti medi giornalieri, che tuttavia sono stati successivamente recuperati.

L'uso dell'1% di acido benzoico non solo non ha comportato differenze nelle prestazioni in vita ma neanche successivamente al macello. L'impiego di questo acido organico come strategia per acidificare i liquami non ha dunque avuto conseguenze negative né sulla qualità della carne, né

tantomeno sullo stato di salute degli animali, dal momento che non sono stati registrati sintomi di zoppia o qualsivoglia problematica sanitaria durante tutto il ciclo di ingrasso, ad eccezione di pochi casi isolati non ricollegabili al trattamento sperimentale. Tuttavia, nelle ossa del gruppo di controllo è stato riscontrato un maggiore contenuto di minerali (espresso come percentuali di ceneri), correlato ad un maggiore contenuto di calcio; in entrambi i cicli, infatti, il rapporto calcio/fosforo è risultato maggiore nel gruppo di controllo rispetto al trattato. Le differenze osservate risultano significative, benché di modesta entità. Ciò sarebbe coerente con quanto riscontrato in alcuni studi in cui l'inclusione alimentare di acido benzoico aveva influenzato negativamente l'equilibrio minerale dei suini (Mroz et al., 1996 Sauer et al., 2009 e Bühler et al., 2010) in quanto tendeva a ridurre significativamente la concentrazione di ceneri ossee. Le discrepanze tra controllo e tratto emerse in questa esperienza, poiché verificatesi con mangimi contenenti dosi prudentemente elevate di calcio e fosforo, rivelano in ogni caso un impatto negativo dell'acidificazione dei mangimi sul metabolismo osseo e suggeriscono, di conseguenza, più approfondite indagini qualora si utilizzino diete a minore contenuto di fosforo in funzione di un ridotto impatto ambientale. Durante la formulazione del mangime per il suino pesante, sarebbe cioè opportuno considerare gli eventuali effetti dell'acido benzoico sull'utilizzo dei macrominerali per garantire che il fabbisogno sia ragionevolmente soddisfatto e coerente con l'indispensabile funzione di sostegno degli alti pesi svolta dall'apparato scheletrico.

I risultati più rilevanti del progetto PigBen evidenziano, inoltre, che l'acido benzoico integrato nella dieta del suino pesante in concentrazioni pari all'1% può ridurre le emissioni di NH₃ dagli effluenti, durante lo stoccaggio, del 20%-22% rispetto alle diete controllo sia nel caso dell'alta che della bassa proteina, coerentemente con quanto precedentemente emerso da altri studi condotti però sul suino leggero (Mroz et al., 2000-a; Mroz et al., 2000-b; Lynch et al., 2008). L'effetto dell'acido benzoico nel limitare le emissioni di ammoniaca è risultato complementare e sinergico alla mitigazione delle emissioni ottenibili grazie alla riduzione del tenore proteico, strategia quest'ultima fondamentale per diminuire l'azoto escreto e di conseguenza le emissioni ammoniacali provenienti dalle stalle e dagli effluenti suinicoli.

Una significativa riduzione della componente proteica indifferenziata della dieta e l'integrazione con amminoacidi di sintesi per avvicinarsi al livello della "proteina ideale" in combinazione con l'inclusione dell'1% di acido benzoico, significa pertanto limitare le emissioni ammoniacali dagli edifici destinati alla stabulazione suinicola e dalla successiva gestione agronomica degli effluenti.

3.4 CONCLUSIONI

A causa del considerevole contributo apportato dall'industria suinicola alle emissioni nazionali di NH₃, provenienti in particolare dalle regioni più vocate alla produzione del suino pesante dove le densità animali sono più elevate, sono richieste strategie efficaci e metodi innovativi per abbattere l'impatto ambientale e contribuire alla salvaguardia della qualità dell'aria, del suolo e delle risorse idriche.

Alla luce dei risultati di questo esperimento, volto essenzialmente all'individuazione di soluzioni che rendano gli allevamenti maggiormente sostenibili, si può affermare che l'acido benzoico integrato nei mangimi abbia un chiaro impatto sull'emissione di ammoniaca. Ciò implica che la mitigazione delle emissioni ammoniacali prodotte dai liquami suini possa essere perseguita in modo relativamente semplice ed economico (van der PeetSchwering et al., 1999) attraverso la riduzione del pH urinario. Tale condizione si ottiene dalla trasformazione metabolica della componente anionica dell'acido organico in acido ippurico espulso nelle urine (Bridges et al., 1970; Mroz et al., 2000).

Più precisamente una riduzione della componente proteica indifferenziata della dieta e l'integrazione di amminoacidi di sintesi per approssimarsi al livello della "proteina ideale", unitamente all'impiego di acido benzoico, risultano essere interventi complementari significativamente efficaci per limitare le emissioni di ammoniaca. Risulta, tuttavia, fondamentale notare che questa tipologia di intervento, deve considerare l'utilizzo di diete ben aderenti ai variabili fabbisogni degli animali perché possa essere attuata con successo. Ciò significa che, affinché le strategie alimentari possano essere applicate con risultati ambientali e produttivi positivi, sono necessarie da parte dell'allevatore una rigorosa gestione dell'alimentazione e opportune conoscenze sulle esigenze nutrizionali del suino pesante.

Considerando che, come già precedentemente riportato dal parere del comitato scientifico dell'alimentazione animale della Commissione europea, l'aggiunta dell'additivo all'1% non ha comportato effetti negativi sulla qualità delle carni destinate al circuito DOP, è possibile affermare che questa strategia possa essere implementata in conformità con le specifiche caratteristiche delle cosce per la produzione del prosciutto di Parma previste dal disciplinare tecnico, senza oltretutto compromettere la salute e il benessere degli animali.

In conclusione, ridurre le emissioni ammoniacali prodotte dal settore zootecnico è un obiettivo non più prorogabile e assolutamente da perseguire per mitigare l'impatto negativo di questa industria sull'ambiente e garantire che vi sia conformità alle leggi ambientali vigenti. In questo contesto l'impiego di acido benzoico come additivo nelle diete dei suini pesanti rappresenta una promettente strategia per ridurre le emissioni di ammoniaca e contribuire alla sostenibilità ambientale dell'allevamento suinicolo. Tuttavia, è fondamentale condurre ulteriori ricerche per affinare le pratiche di gestione e garantire che l'uso prolungato di questo additivo nel suino pesante sia universalmente sicuro ed efficace, soprattutto per l'equilibrio minerale e le densità ossee.

In generale, perseguire propositi di abbattimento delle emissioni nell'ambito zootecnico attraverso l'implementazione di nuove soluzioni ambientali è un passo importante verso la sostenibilità dell'intero settore agricolo, la salvaguardia dell'ambiente e della salute pubblica.

Bibliografia

- Aarnink A.J. (1997). Ammonia emission from houses for growing pigs as affected by pen design, indoor climate and behaviour. *Wageningen Agricultural University*, 1-175.
- Aarnink A.J., Verstegen M. (2007). Nutrition, key factor to reduce environmental load from pig production. *Livestock Science*, 109 (1–3), 194-203, DOI:<https://doi.org/10.1016/j.livsci.2007.01.112>.
- Aarnink A.J., Swierstra D., van den Berg A., Speelman L. (1997). Effect of Type of Slatted Floor and Degree of Fouling of Solid Floor on Ammonia Emission Rates from Fattening Piggeries. *Journal of Agricultural, Engineering Research*, 66(2), 93-102. DOI:<https://doi.org/10.1006/jaer.1996.0121>.
- Aarnink A.J., Hol A., Nijeboer G.M. (2008). Ammonia emission factor for using benzoic acid (1% VevoVital) in the diet of growing-finishing pigs. Animal Sciences Group, Report 133.
- Agenzia regionale per la prevenzione, l'ambiente e l'energia dell'Emilia-Romagna. (2019). Aggiornamento dell'inventario regionale delle emissioni in atmosfera dell'Emilia-Romagna Relativo all'anno 2019. <https://www.arpae.it/it/arpae/arpae>
- Agenzia regionale per la prevenzione, l'ambiente e l'energia dell'Emilia-Romagna. (2022). Il Bacino Padano: geografia, clima e qualità dell'aria. <https://www.arpae.it/it/arpae/arpae>
- Amann M., Bertok I., Borken-Kleefeld J., Cofala J., Heyes C., Wagner F., et al. (2011). Cost-effective Emission Reductions to Improve Air Quality in Europe in 2020: Analysis of Policy Options for the EU for the Revision of the Gothenburg Protocol. *International Institute for Applied Systems Analysis*, Laxenburg, p. 81, Final Report submitted to the European Commission, DG Environment. <https://pure.iiasa.ac.at/9751>
- Associazione Nazionale Allevatori Suini (ANAS). (2022). La suinicoltura italiana ed europea - Tabelle statistiche. <https://www.anas.it/>
- Associazione Nazionale Allevatori Suini (ANAS). (2017). Progetto SUIIS – Suinicoltura Italiana Sostenibile. Fondo europeo agricolo per lo sviluppo rurale. <https://www.anas.it/>
- Associazione Nazionale Allevatori Suini (ANAS). (2018). Progetto SUIIS – Suinicoltura Italiana Sostenibile. Razze autoctone per il tradizionale suino pesante. Fondo europeo agricolo per lo sviluppo rurale. <https://www.anas.it/>
- Associazione Nazionale Allevatori Suini (ANAS). (2021). Progetto SUIIS – Suinicoltura Italiana Sostenibile. Innovazione per la sostenibilità del suino pesante italiano. Fondo europeo agricolo per lo sviluppo rurale. <https://www.anas.it/>
- Associazione Nazionale Allevatori Suini (ANAS). (2018). Progetto SUIIS – Suinicoltura Italiana Sostenibile. Indici Genetici PSRN 10.2. Fondo europeo agricolo per lo sviluppo rurale. <https://www.anas.it/>
- Associazione Nazionale Allevatori Suini (ANAS). (2021). Alimentazione scrofe e suini razze suino pesante Italiano: linee guida. <https://www.anas.it/>

- Associazione Italiana Medici per l'Ambiente. (2021). Allevamenti e ambiente a Modena. <https://isdmodena.net/>
- Augère-Granier M.L. (2020). The EU pig meat sector. EPRS-European Parliamentary Research Service.
- Barmore W.; Azad F.; Stone W.L. (2023). Physiology, Urea Cycle. National Center for Biotechnology Information. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK513323/>
- Bava L., Zucali M., Sandrucci A., Tamburini A. (2017). Environmental impact of the typical heavy pig production in Italy. *Journal of Cleaner Production*, 140(2), 685-691. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.11.029>
- Berkemans D. (2014). Precision livestock farming technologies for welfare management in intensive livestock systems. *Revue scientifique et technique (International Office of Epizootics)*, 33(1), 189–196. DOI:<https://doi.org/10.20506/rst.33.1.2273>
- Bikker P., Blok M.C. (2017). Phosphorus and calcium requirements of growing pigs and sows. CVB documentation report; No. 59. Wageningen Livestock Research. <https://doi.org/10.18174/424780>
- Bittman S., Dedina M., Howard C.M., Oenema O., Sutton M.A. (2014). Options for Ammonia Mitigation: Guidance from the UNECE Task Force on Reactive Nitrogen. Centre for Ecology and Hydrology, Edinburgh, UK. www.clrtap-tfrn.org
- Bosi P., Russo V. (2004). The production of the heavy pig for high quality processed products. *Italian Journal of Animal Science*, 3:4, 309-321. DOI: 10.4081/ijas.2004.309
- Bosse M. (2018). A Genomics Perspective on Pig Domestication. *Animal Domestication*, 2. doi:10.5772/intechopen.82646
- Botermans J., Gustafsson G., Jeppsson K.H., Brown N., Rodhe L. (2010). Measures to reduce ammonia emissions in pig production. Swedish University of Agricultural Sciences.
- Bottazzoni L., Gallo M. (2009). La selezione delle razze del suino pesante. Libro Genealogico Suini (ANAS), 1-41. Tratto da <http://www.gruppoveterinariosuinicolomantovano.it/documenti/genetica/anasprot.pdf>
- Bridges J. W., French M. R., Smith R. L., Williams R. T. (1970). The fate of benzoic acid in various species. *The Biochemical journal*, 118(1), 47–51. <https://doi.org/10.1042/bj1180047>
- Brok G.M., Hendriks J., Vrielink M., van der PeetSchwering C. (1999). Urinary pH, ammonia emission and performance of growing/finishing pigs after the addition of a mixture of organic acids, mainly benzoic acid, to the feed. *Research Institute for Pig Husbandry*.
- Broz J., Paulus C. (2001). Benzoic acid: a new feed additive for swine. *Animal Nutrition and Health*, 20(7), 32-33.
- Bühler K., Wenk C., Bronze J., Geber S. (2006). Influence of benzoic acid and dietary protein level on performance, nitrogen metabolism and urinary pH in growing-finishing pigs. *Archives of Animal Nutrition*, 60(5), 382-389. doi:<https://doi.org/10.1080/17450390600884369>

- Bühler K., Wenk C., Bronze J., Geber S. (2010). Apparent nutrient and mineral digestibility in growing-finishing pigs fed phosphorus reduced diets supplemented with benzoic acid and phytase. *Archives of Animal Nutrition*, 134(1-3), 103-105. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2010.06.111>
- Cappelaere L., Le Cour Grandmaison J., Martin N., Lambert W. (2021). Amino Acid Supplementation to Reduce Environmental Impacts of Broiler and Pig Production: A Review. *Frontiers in Veterinary Science*, 8. DOI: 10.3389/fvets.2021.689259
- Canh T., Aarnink A., Schutte J., Sutton A., Langhout D., Verstegen M. (1998). Dietary protein affects nitrogen excretion and ammonia emission from slurry of growing-finishing pigs, *Livestock Production Science*, 56(3), 181-191, DOI:[https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(98\)00156-0](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(98)00156-0)
- Canh T.T., Aarnink A.J.A., Mroz Z., Jongbloed A.W., Schrama J., Verstegen M. (1998). Influence of electrolyte balance and acidifying calcium salts in the diet of growing-finishing pigs on urinary pH, slurry pH and ammonia volatilisation from slurry. *Livestock Production Science*, 56(1), 1-13, DOI:[https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(98\)00148-1](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(98)00148-1).
- Chojnacka K., Mikula K., Izydorczyk G., Dawid Skrzypczak, et al. (2021). Innovative high digestibility protein feed materials reducing environmental impact through improved nitrogen-use efficiency in sustainable agriculture. *Journal of Environmental Management*, 291. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112693>
- Cho J.H., Lee S.I., Kim I.H. (2015). Effects of different levels of fibre and benzoic acid on growth performance, nutrient digestibility, reduction of noxious gases, serum metabolites and meat quality in finishing pigs. *Journal of Applied Animal Research*, 43, 336 - 344. DOI:10.1080/09712119.2014.978772
- Clarisse L., Clerbauc C., Denter F. et al, (2009). Global ammonia distribution derived from infrared satellite observations. *Nature Geosci*, 2, 479–483. doi:<https://doi.org/10.1038/ngeo551>
- Commissione Europea. (2023). La politica agricola comune in sintesi. *Agriculture and rural development*. https://agriculture.ec.europa.eu/index_it
- Commissione Europea. (2017). Decisione di esecuzione (UE) 2017/302 della commissione Che stabilisce le conclusioni sulle migliori tecniche disponibili (BAT) concernenti l'allevamento Intensivo di pollame o di suini. *Gazzetta ufficiale dell'Unione europea*.
- Commissione Europea. (2021). Politica agricola comune e clima: relazione speciale. Corte dei conti europea, 16, 1-51.
- Commissione Europea. (2021). Opinion of the Scientific Committee on Animal Nutrition on the use of benzoic acid in feedingstuffs for pigs for fattening. *Scientific Opinions*.
- Cronin G.M., Rault J.L., Glatz P.C. et al. (2014). Lessons learned from past experience with intensive livestock management systems. *Revue scientifique et technique (International Office of Epizootics)*, 33(1), 139-151. doi:<https://doi.org/10.20506/rst.33.1.2256>
- Crovetto M., Sandrucci A. (2010). Allevamento Animale e riflessi ambientali. *Fondazione iniziative zooprofilattiche e zootecniche di Brescia*, 70, 151-267

- Moscatelli G., Valli L., Fabbri C. (2008). Come misurare l'ammoniaca. Centro Ricerche Produzioni Animali (CRPA). https://www.crpa.it/nqcontent.cfm?a_id=1109
- De Forest K., E. C. (2012). Il suino intermedio: opportunità e limiti. CRPA, economia e allevamento. Tratto da file:///C:/Users/hp/Downloads/2012_CRPA_Il_suino_intermedio_opportunit__e_limiti.pdf
- Dennehy C., Lawlor P.G., Jiang Y., et al. (2017). Greenhouse gas emissions from different pig manure management techniques: a critical analysis. *Frontiers of Environmental Science & Engineering*. 11(11). <https://doi.org/10.1007/s11783-017-0942-6>
- Department for Environment, Food and Rural Affairs. (2018). Code of Good Agricultural Practice (COGAP) for Reducing Ammonia Emissions. Air Quality and Industrial Emissions Team, Westminster, London.
- Di Cristoforo E. (2020). Focus sulle emissioni da agricoltura e allevamento. ISPRA - Istituto superiore di protezione e ricerca ambientale. <https://www.isprambiente.gov.it/it>
- Donham J.K. (2000). The concentration of swine production. Effects on swine health, productivity, human health, and the environment. 16(3), 559–597. doi: [https://doi.org/10.1016/s0749-0720\(15\)30087-6](https://doi.org/10.1016/s0749-0720(15)30087-6)
- Dourmad J., Jondreville C. (2007). Impact of nutrition on nitrogen, phosphorus, Cu and Zn in pig manure, and on emissions of ammonia and odours. *Livestock Science*, 112, 192-198. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.livsci.2007.09.002>
- Dourmad J., Guingand N., Latimier P., Sève B. (1999). Nitrogen and phosphorus consumption, utilisation and losses in pig production: France. *Livestock Production Science*, 58(3), 199-211, DOI:[https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(99\)00009-3](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(99)00009-3).
- EEA. (2009). Animal husbandry and manure management. European Environment Agency. Tratto da: EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2009.
- EDGAR - Emissions Database for Global Atmospheric Research. (2023). Air and Toxic pollutants - world ammonia emission. https://edgar.jrc.ec.europa.eu/air_pollutants
- Eriksen J., Adamsen A.P.S., Poulsen H.D., Jensens B.B., et al. (2010). Emissions of Sulfur Containing Odorants, Ammonia, and Methane from Pig Slurry: Effects of Dietary Methionine and Benzoic Acid. *Journal of Environmental Quality*, 39(3), 1097-1107. doi: <https://doi.org/10.2134/jeq2009.0400>
- European Parliamentary Research Service. (2020). The EU pig meat sector. www.eprs.ep.parl.union.eu
- European Commission. (2023). BAT reference documents. European IPPC Bureau. <https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference>
- European Commission. (2023). Nitrates: Protecting waters against pollution caused by nitrates from agricultural sources. *Energy, Climate change, Environment*. https://environment.ec.europa.eu/topics/water/nitrates_en
- European Environment Agency. (2023). Air pollution in Europe: 2023 reporting status under the National Emission reduction Commitments Directive. <https://www.eea.europa.eu/en>
- EUROSTAT (2023). Pig population - annual data. <https://ec.europa.eu/eurostat>

- EUROSTAT (2023). Slaughtering in slaughterhouses - annual data. <https://ec.europa.eu/eurostat>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (2009). How to feed the world in 2050. Rome: FAO. www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/expert_paper/How_to_Feed_the_World_in_2050.pdf
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2007). Global and regional food consumption patterns and trends, Agriculture and Consumer Protection report, Rome. www.faostat.fao.org
- Flotats X. (2023). Emissions (I): How are greenhouse gas and ammonia emissions produced in farms. *Comunidad Profesional Porcina*, 1(1). <https://www.3tres3.com/>
- François-Xavier Philippe, Jean-François Cabaraux, Baudouin Nicks. (2011). Ammonia emissions from pig houses: Influencing factors and mitigation techniques. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 141(3–4), 245-260, DOI:<https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.03.012>.
- Galassi G., Malagutti L., Colombini S., Rapetti L., Crovetto M. (2011). Effects of benzoic acid on nitrogen, phosphorus and energy balance and on ammonia emission from slurries in the heavy pig. *Italian Journal of Animal Science*, 10(3). DOI: 10.4081/ijas.2011.e38
- Galassi G., Malagutti L., Crovetto 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(3), 227-239, DOI: 10.4081/ijas.2007.227
- Giuffra E., Kijas J., Amarger V., Carlborg O., et al. (2000). The origin of the domestic pig: Independent domestication and subsequent introgression. *Genetics*, 154(4), 1785-1791. doi:<https://doi.org/10.1093/genetics/154.4.1785>
- Guo K., Liu F., Xu X., Xu J., Zoccarato I. (2012). Study of the Assessment Method for N Excretion in Sustainable Heavy Pigs Production. *Physics Procedia*, 24, Part A, 368-374, DOI:<https://doi.org/10.1016/j.phpro.2012.02.054>.
- Guthrie S., Giles S., Dunkerley F., Tabaqchali H., et al. (2018). The impact of ammonia emissions from agriculture on biodiversity. The Royal Society. https://www.rand.org/pubs/research_reports/RR2695.html
- Gutzwiller A., Schlegel P., Guggisberg D., Stoll P. (2014). Effects of benzoic Acid and dietary calcium: phosphorus ratio on performance and mineral metabolism of weanling pigs. *Asian-Australasian journal of animal sciences*, 27(4), 530–536. DOI:<https://doi.org/10.5713/ajas.2013.13527>
- Gutzwiller A., Hess H.D., Adam A., Guggisberg D., Liesegang A., Stoll P. (2011). Effects of a reduced calcium, phosphorus and protein intake and of benzoic acid on calcium and phosphorus metabolism of growing pigs. *Animal Feed Science and Technology*, 168 (1–2), 113-121. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.03.015>.
- Halas D., Hansen C.F., Hampson D.J., Mullan B.P., et al. (2010). Dietary supplementation with benzoic acid improves apparent ileal digestibility of total nitrogen and increases villous height and caecal microbial diversity in weaner pigs. *Animal Feed Science and Technology*, 160(3-4), 137-147. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2010.07.001>

- Hansen C.F., Sørensen G., Lyngbye M. (2007). Reduced diet crude protein level, benzoic acid and inulin reduced ammonia, but failed to influence odour emission from finishing pigs. *Livestock Science*, 109 (1–3), 228-231. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2007.01.133>.
- Hayes E., Leek A., Curran T.P., Dodd V., Carton O., Beattie V., O’Doherty J. (2004). The influence of diet crude protein level on odour and ammonia emissions from finishing pig houses, *Bioresource Technology*, 91(3), 309-315. Doi:[https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(03\)00184-6](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(03)00184-6).
- Hayes E., Curran T.P., Dodd V.A. (2006). Odour and ammonia emissions from intensive pig units in Ireland, *Bioresource Technology*, 97 (7), 940-948, DOI:<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2005.04.023>.
- Humphrey D. C., Bergstrom J. R., Calvo E. P., Trabue S. L., Scoggin K. D., Greiner, L. L. (2022). The effect of benzoic acid with or without a direct-fed microbial on the nutrient metabolism and gas emissions of growing pigs. *Journal of animal science*, 100(11).DOI:<https://doi.org/10.1093/jas/skac296>
- Istituto di Servizi per il Mercato Agricolo Alimentare. (2023). Scheda di settore - suino. www.ismea.it
- Istituto di Servizi per il Mercato Agricolo Alimentare. (2023). Tendenze - Suino. www.ismea.it
- Istituto di Servizi per il Mercato Agricolo Alimentare. (2022). Tendenze - Suino. www.ismea.it
- Istituto Nazionale di Statistica, www.istat.it
- Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale. (2021). Emissioni di ammoniaca dall'agricoltura. https://indicatoriambientali.isprambiente.it/sys_ind/807
- ISPRA. (2021). Italian Emission Inventory 1990-2019. Informative Inventory Report 2021. *Rapporto ISPRA 342/2021*. <http://www.sinanet.isprambiente.it/it/sia-ispra/serie-storiche-emissioni/informative-inventory-report/view>
- Jarrett S., Ashworth C. (2018). The role of dietary fibre in pig production, with a particular emphasis on reproduction. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 9(59). DOI:<https://doi.org/10.1186/s40104-018-0270-0>
- Jiang T., Schichardt. F., et al. (2011). Effect of C/N ratio, aeration rate and moisture content on ammonia and greenhouse gas emission during the composting. *Journal of Environmental Sciences*, 23(10), 1754-1760. doi:[https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(10\)60591-8](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(10)60591-8)
- Kim J.H., Guo X., Park S. (2008). Comparison study of the effects of temperature and free ammonia concentration on nitrification and nitrite accumulation. *Process Biochemistry*, 43(2), 154-160. doi:<https://doi.org/10.1016/j.procbio.2007.11.005>
- Kluge H., Broz J., Eder K. (2006). Effect of benzoic acid on growth performance, nutrient digestibility, nitrogen balance, gastrointestinal microflora and parameters of microbial metabolism in piglets. *Journal of animal physiology and animal nutrition*, 90(7-8), 316–324. DOI:<https://doi.org/10.1111/j.1439-0396.2005.00604.x>
- Kristensen N. B., Nørgaard J. V., Wamberg S., Engbaek M., Fernández J. A., Zacho H. D., Poulsen H. D. (2009). Absorption and metabolism of benzoic acid in growing pigs. *Journal of animal science*, 87(9), 2815–2822. DOI:<https://doi.org/10.2527/jas.2009-2003>

- Krupa S.V. (2003). Effects of atmospheric ammonia (NH₃) on terrestrial vegetation: a review. *Environmental pollution (Barking, Essex : 1987)*, 124(2), 179–221. doi:[https://doi.org/10.1016/s0269-7491\(02\)00434-7](https://doi.org/10.1016/s0269-7491(02)00434-7)
- Lagos L.V., Walk C.L., Murphy M.R., Stein H. (2019). Effects of dietary digestible calcium on growth performance and bone ash concentration in 50- to 85-kg growing pigs fed diets with different concentrations of digestible phosphorus. *Animal Feed Science and Technology*. 247, 262–272. DOI:10.1016/j.anifeedsci.2018.11.019.
- Lanzani G., D'Angelo L., Cuccia E., Corbella L., et al. (2020). Ammoniaca e formazione di particolato secondario. Arpa Emilia-Romagna, *Ecoscienza - Qualità dell'aria*, 3, 64-66.
- Latorre M. A., Medel P., Fuentetaja A., Lázaro R., Mateos G. G. (2003). Effect of gender, terminal sire line and age at slaughter on performance, carcass characteristics and meat quality of heavy pigs. *Animal Science*, 77(1), 33-46. DOI: <https://doi.org/10.1017/S1357729800053625>
- Lautrou M., Narcy A., Dourmad J.Y., Pomar C., Schmidely P., Létourneau Montminy M. (2021). Dietary Phosphorus and Calcium Utilization in Growing Pigs: Requirements and Improvements. *Frontiers in Veterinary Science*, 8. DOI: 10.3389/fvets.2021.734365
- Lautrou M., Cappelaere L, Létourneau Montminy M. (2022). Phosphorus and nitrogen nutrition in swine production. *Animal Frontiers*, 12(6), 23–29. DOI:<https://doi.org/10.1093/af/vfac068>
- Lee S.A., Lagos L.V., Bedford M.R., Stein H.H. (2021). Quantities of ash, Ca, and P in metacarpals, metatarsals, and tibia are better correlated with total body bone ash in growing pigs than ash, Ca, and P in other bones. *Journal of animal science*, 99(6). DOI:<https://doi.org/10.1093/jas/skab149>
- MacLeod M., Gerber P., Mottet A., et al. (2013). Greenhouse gas emissions from pig and chicken supply chains – A global life cycle. Tratto da Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome.
- Maes D., Dewulf J. Edwards S., et al. (2020). A critical reflection on intensive pork production with an emphasis on animal health and welfare. *Journal of Animal Science*, 98(1), 15-26. doi:<https://doi.org/10.1093/jas/skz362>
- Maiorano G. (2009). Swine production in Italy and research perspectives for the local breeds. *Slovak Journal of Animal Science*, 42(4), 159-166. Tratto da <https://office.sjas-journal.org/index.php/sjas/article/view/409/397>
- Malherbe L., German R., Couvidat F., et al. (2022). Emissions of ammonia and methane from the agricultural sector - Emissions from livestock farming. (Eionet Report - ETCHE 2022/21). *European Topic Centre on Human Health and the Environment*. <https://www.eionet.europa.eu/etcs/all-etc-reports>
- Meara F.M., Gardiner G.E., Doherty J.V., Lawlor, P.G. (2020). Effect of dietary inclusion of benzoic acid (VevoVital[®]) on the microbial quality of liquid feed and the growth and carcass quality of grow-finisher pigs. *Livestock Science*, 237. DOI:10.1016/j.livsci.2020.104043
- Menegat M., Dritz S., Tokach M., Woodworth J., DeRouchey J., Goodband R. (2020). Phase-feeding strategies based on lysine specifications for grow-finish pigs. *Journal of Animal Science*, 98(1), DOI:<https://doi.org/10.1093/jas/skz366>

- Ministero delle politiche agricole alimentari e forestali. (2013). Disciplinare di produzione della denominazione di origine protetta «Prosciutto di Parma». <https://www.politicheagricole.it/flex/cm/pages/ServeBLOB.php/L/IT/IDPagina/5694>
- Ministero delle politiche agricole alimentari e forestali. (2014). Lo Sviluppo rurale in Italia e la prospettiva europea nelle misure del PSRN. <https://www.psrn.it/psrn/>
- Ministero della Salute. (2022). AIA - Autorizzazione Integrata Ambientale. Sicurezza chimica. <https://www.salute.gov.it/portale/sicurezzaChimica/homeSicurezzaChimica.jsp>
- Misiura M., Filipe J., Walk C., Kyriazakis I. (2020). How do pigs deal with dietary phosphorus deficiency? *British Journal of Nutrition*, 124(3), 256-272. DOI:10.1017/S0007114520000975
- Mordenti A., Bosi P., Corino C., Crovetto M., Della Casa G., Franci O., A. Piva, A. Prandini, Russo V. S. Schiavon. (2003). Nutrient requirements of heavy pig. *Italian Journal of Animal Science*, 2(1), 73-87. DOI:10.4081/ijas.2003.73
- Moscattelli G., Pignagnoli A., Valli L., Zanaroli A., Faeti V., Della Casa G. (2023). PigBen: ridurre le emissioni di ammoniaca del suino pesante con diete additivate di acido benzoico. Regione Emilia-Romagna, Programma regionale di sviluppo rurale, *Agricoltura, caccia e pesca*.
- Murphy D., Doherty O., Pierce K., et al. (2010). The effect of dietary benzoic acid concentration on nitrogen utilisation, manure ammonia and odour emissions in finisher pigs. *Animal Feed Science and Technology*, 163(2-4), 194-199. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2010.10.009>
- Nørgaard V., Fernández J, Sørensen K., Wamberg S., Poulsen H.D., Kristensen N.B. (2010). Effect of benzoic acid supplementation on acid–base status and mineral metabolism in catheterized growing pigs. *Livestock Science*, 134 (1–3), 116-118. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2010.06.115>
- Pacchioli M. (2002). L'alimentazione proteica nella dieta dei suini. *CRPA, Agricoltura*, 10, 61-62.
- Park S.H., Lee B.R., Jung K.H., Kim, T.H. (2018). Acidification of pig slurry effects on ammonia and nitrous oxide emissions, nitrate leaching, and perennial ryegrass regrowth as estimated by 15N-urea flux. *Asian-Australasian journal of animal sciences*, 31(3), 457–466. DOI:<https://doi.org/10.5713/ajas.17.0556>
- Parlamento europeo. (2010). DIRETTIVA 2010/75/UE relativa alle emissioni industriali (prevenzione e riduzione integrate dell'inquinamento). *Gazzetta ufficiale dell'Unione europea*.
- Partanen K. H., Mroz Z. (1999). Organic acids for performance enhancement in pig diets. *Nutrition research reviews*, 12(1), 117–145. DOI:<https://doi.org/10.1079/095442299108728884>
- Pesolillo G., Nardoni. G., Bologna C., de Lucia B., Romani I. (2011). Il comparto suinicolo – Analisi economica. Camera di Commercio di Mantova, 5-151. Tratto da https://www.mn.camcom.gov.it/files/Toolbar/comparto_suinicolo_analisi_economica_BMTI.pdf
- Prosser J.I., Hink L., Gubry-Rangin C., Nicol G.W. (2020). Nitrous oxide production by ammonia oxidizers: Physiological diversity, niche differentiation and potential mitigation strategies. *Global Change Biology*, 26, 103-118. DOI:<https://doi.org/10.1111/gcb.14877>

Rauw W.M., Kanis. E., Noordhuizen-Stassen E.N., Groommers F.J. (1998). Undesirable effects of selection for high production efficiency in farm animals: a review. *Livestock Production Science*, 56(1), 15-33. DOI:[https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(98\)00147-X](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(98)00147-X)

Regione Emilia-Romagna. (2014). Programma di sviluppo rurale 2014-2020 dell'Emilia-Romagna.

Regione Emilia-Romagna. (2020). Piano Aria-PAIR 2020. *Ambiente*. <https://ambiente.regione.emilia-romagna.it/it/aria/temi/pair2020>

Regione Emilia-Romagna. (2022). Impegni specifici per la riduzione delle emissioni di ammoniaca di origine zootecnica e agricola. Sviluppo rurale, *Agricoltura*.

Regione Emilia-Romagna. (2016). Regolamento regionale in materia di utilizzazione agronomica degli effluenti di allevamento, del digestato e delle acque reflue derivanti da aziende agricole e piccole aziende agro-alimentari. Assessorato all'agricoltura, caccia e pesca, *Agricoltura*.

Regione del Veneto. (2008). Aspetti generali sui modelli di quantificazione aziendale delle escrezioni di azoto e fosforo nelle principali tipologie di allevamento del Veneto. Dipartimento di Scienze Animali, Università degli Studi di Padova, *Allegato A al Decreto della Direzione Agroambiente e Servizi per l'Agricoltura*.

Reis S., Howard C., Sutton M. (2015). Costs of Ammonia Abatement and the Climate Co-Benefits. *Centre for Ecology & Hydrology*, 1,233-261. DOI:<https://doi.org/10.1007/978-94-017-9722-1>

Rete Rurale Nazionale. (2013). Linee guida agricole per la riduzione delle emissioni di ammoniaca nel Bacino Padano. Ministero delle politiche agricole alimentari e forestali. <https://www.reterurale.it/20072013>

Rete europea per lo sviluppo rurale (RESR). (2020). Normativa in materia di sviluppo rurale e attuazione dei PSR. <https://ec.europa.eu/enrd/index.html>

Rieger H., Ratert C., Wendt M., Schwennen C., Kamphues J. (2021). Comparative study on the chemical composition of different bones/parts of bones in growing pigs differently supplied with inorganic phosphorus and phytase. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 105(Suppl. 2), 106–118. DOI:<https://doi.org/10.1111/jpn.13636>

Rychła A., Amon B., Hassouna M., van der Weerden T. J., Winiwarter W. (2023). Costs and effects of measures to reduce ammonia emissions from dairy cattle and pig production: A comparison of country-specific estimations and model calculations. *Journal of environmental management*, 344, 118678. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.118678>

Rossi A., Della Casa G. (2004). Il bilancio dell'azoto negli allevamenti di suini. *Zootecnia e ambiente*, 82-83.

Rossi A., Pacchioli M. (2012). La proteina nell'alimentazione del suino pesante. CRPA, *La produzione di suini e l'agricoltura reggiana*.

Ryan W.F., Lynch P.B., O'Doherty J.V. (2011). Compensatory effect of dietary phosphorus on performance of growing pigs and development of bone mineral density assessed using dual energy X-ray absorptiometry. *Livestock Science*, 138(1–3), 89-95, DOI:<https://doi.org/10.1016/j.livsci.2010.12.006>.

- Sauer W., Cervantes M., Yanez J., Araiza B., Murdoch G., et al. (2009). Effect of dietary inclusion of benzoic acid on mineral balance in growing pigs. *Livestock Science*, 122 (2-3), 162-168, DOI:<https://doi.org/10.1016/j.livsci.2008.08.008>
- Schedle K., Wagner V., Windisch W.M. (2006). Influence of adding 0.5 or 1.0% of benzoic acid on growth performance and urinary parameters of fattening pigs. *Slovak Journal of Animal Science*, 39(1-2), 69-73.
- Schiavon S., Gallo L., Dal Maso M., Tagliapietra F., Bailoni L. (2007). Aspetti generali sui modelli di quantificazione delle escrezioni di azoto e fosforo nelle principali tipologie di allevamento nel Veneto. Relazione tecnica, Regione Veneto.
- Sigurdarson J.J., Svane S., Karring H. (2018). The molecular processes of urea hydrolysis in relation to ammonia emissions from agriculture. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 17, 241–258. DOI:<https://doi.org/10.1007/s11157-018-9466-1>
- Sistema Nazionale per la Protezione dell’Ambiente (SNPA). (2001). Acidificazione ed eutrofizzazione da deposizioni atmosferiche: le mappe nazionali dei carichi critici. ISPRA, *Stato dell’Ambiente*, 2. <https://www.snpambiente.it/>
- Steinfeld H., Gerber P, Wassenaar T., et al. (2006). Livestock's Long Shadow: Environmental Issues and Options. Food and Agriculture Organization of the United Nations, 3-45.
- Succi G. (1999). *Zootecnia speciale* (ottava ed.). Torino: Cittàstudiedizione.
- Testa G. (2002). Carcasse suine: ora si usa una nuova classificazione. *Agricoltura*, 59-60.
- Torrallardona D., Badiola I., Broz J. (2007). Effects of benzoic acid on performance and ecology of gastrointestinal microbiota in weanling piglets. *Livestock Science*, 108 (1–3), 210-213, DOI:<https://doi.org/10.1016/j.livsci.2007.01.062>.
- Turchi M., Contini E. (2013). Tecnologie per l’allevamento dei suini. CRPA, I supplementi di agricoltura, 5(3), 5-34.
- United Nations, Departement of economic and social affairs (2019). *World Population Prospects*. New York.
- Valli L. (2020). Gli spunti del progetto Prepair per gestire le emissioni del settore zootecnico. CRPA, *Informatore zootecnico*, 1, 44-47.
- Van der Peet-Schwering C., Verdoes N., Plagge J.G. (1999). Influence of benzoic acid in the diet on performance and urine pH of growing/finishing pigs. Report P 5.8. *Research Institute for Pig Husbandry, Rosmalen*, 1-23.
- Van Milgen J., Dourmad J.Y. (2015). Concept and application of ideal protein for pigs. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 6, 15. DOI:<https://doi.org/10.1186/s40104-015-0016-1>
- Varley P.F., Flynn B., Callan J., O'Doherty V. (2011). Effect of crude protein and phosphorus level on growth performance, bone mineralisation and phosphorus, calcium and nitrogen utilisation in grower-finisher pigs, *Archives of Animal Nutrition*, 65:2, 134-147, DOI:10.1080/1745039X.2011.556327

Webb J., Menzi H., Pain B.F., Misselbrook T.H., Dämmgen U., Hendriks H., Döhler H. (2005). Managing ammonia emissions from livestock production in Europe, *Environmental Pollution*, 135(3), 399-406, DOI:<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2004.11.013>.

White S. (2011). From Globalized Pig Breeds to Capitalist Pigs: A Study in Animal Cultures and Evolutionary History. *Environmental History*, 16(1), 94-120. DOI:<http://www.jstor.org/stable/23050648>

Zeder M.A. (2008). Domestication and early agriculture in the Mediterranean Basin: Origins, diffusion, and impact. *Journal of Anthropological Research*, 105(33), 11597-11604. doi:<https://doi.org/10.1073/pnas.0801317105>

Zeder M.A. (2012). Pathways to domestication. *Biodiversity in Agriculture: Domestication, Evolution, and Sustainability*, 227–259.

Zhang S., Chu L., Qiao S., Mao X., Zeng X. (2016). Effects of dietary leucine supplementation in low crude protein diets on performance, nitrogen balance, whole-body protein turnover, carcass characteristics and meat quality of finishing pigs. *Animal Science Journal*, 87, 911–920. DOI: 10.1111/asj.12520

Zhao L. (2021). Overview of NH₃ Emission from Poultry Facilities and the BMPs and BATs. The Ohio State University.

