UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO

FACOLTÀ DI SCIENZE AGRARIE E ALIMENTARI

Corso di laurea in

Valorizzazione e Tutela dell'Ambiente e del Territorio Montano

VALUTAZIONE DELLE EMISSIONI DI AMMONIACA DA STALLE DI CAPRE DA LATTE IN LOMBARDIA, TRE CASI STUDIO A CONFRONTO

Relatore: prof. Alberto Finzi

Correlatore: dr.ssa Stefania Celozzi

Elaborato finale di:

Francesco Dominici

Matricola N°: 947976

Anno accademico 2024/2025

INDICE

RIASSUNTO..... 3

1 INTRODUZIONE..... 5

1.1 Le caratteristiche chimiche dell'ammoniaca e problematica ambientale derivante dal settore zootecnico 5

1.2 Le emissioni di NH_3 del settore agricolo 6

1.2.1 Metodo di stima delle emissioni di NH_3 14

1.3 L'origine delle emissioni di NH_3 dal settore zootecnico..... 15

1.4 Obbiettivo 17

2 MATERIALI E METODI..... 18

2.1 Descrizione aziende monitorate..... 18

2.2 Monitoraggio della qualità dell'aria nelle aziende..... 22

2.3 Elaborazione dei dati..... 27

2.4 Il ruolo della ventilazione nelle stalle..... 34

2.5 Stima delle emissioni di NH_3 tramite il bilancio di massa della CO_2..... 35

2.6 Metodo di riferimento per le stime delle emissioni..... 37

3 RISULTATI..... 39

3.1 Parametri descrittivi delle stalle studiate..... 39

3.2 Qualità dell'aria e valutazione della ventilazione nelle stalle..... 43

3.3 Valutazione delle emissioni stimate e fattori incidenti..... 46

3.4 Confronti con EMEP/EEA air pollutant emission inventory Guidebook 2023..... 48

4 CONCLUSIONI..... 49

5 Bibliografia 50

Riassunto

L'ammoniaca (NH_3) è una sostanza fonte di problematiche ambientali e di salute pubblica. Il settore agricolo è responsabile del 90% delle emissioni di ammoniaca in atmosfera e la zootecnia in particolare ha un ruolo di primo piano perché oltre il 75% delle emissioni proviene dalla gestione delle deiezioni, tra fase di stabulazione, stoccaggio e spandimento in campo. Va puntualizzato però, che le emissioni sono gradualmente diminuite con il passare del tempo; infatti, nel 2023 l'ammontare totale è pari a circa il 70% rispetto al 1990. La quantificazione dell'emissioni dagli allevamenti avviene tramite stime, che, come tali, sono caratterizzate da un certo grado di incertezza a seconda della metodologia utilizzata. Alcuni comparti come quello bovino e suino sono stati oggetto di numerosi studi, mentre il settore caprino è stato meno studiato. L'obiettivo della tesi è stato quello di approfondire la stima delle emissioni da stalle di capre da latte, e i fattori che possono incidere su di esse. A tal fine sono state monitorate tre stalle in Lombardia. Il monitoraggio ha previsto l'installazione in stalla e all'esterno di centraline a basso costo dotate di sensori per il rilievo dell'NH_3, anidride carbonica (CO_2), temperatura e umidità, oltre ad altri sensori ambientali. Le concentrazioni dei gas sono state poi convertite in emissioni attraverso il metodo del bilancio di massa della CO_2, che consente di stimare le emissioni di NH_3 passando dalla stima della portata di ventilazione (Qt) della stalla, sulla base delle concentrazioni di CO_2 interne ed esterne. Dai risultati emerge che le concentrazioni di CO_2 e NH_3 sono influenzate dalla ventilazione, quando i valori sono bassi significa che la stalla rimane ben arieggiata, ovvero le aperture come portoni e finestre sono adeguatamente aperte permettendo dunque l'ingresso e l'uscita dell'aria. Mettendo a confronto le emissioni di NH_3 (mg/m_2h) con Qt (m^3/capo h), è stato riscontrato che durante il periodo estivo, l'azienda caratterizzata da una ventilazione di maggiore entità ha raggiunto un

valore elevato di 309 mg/m_2h mentre le altre due aziende sono rimaste su valori medi compresi fra 142 mg/m_2h e 152 mg/m_2h. Durante il periodo invernale invece le tre aziende sono rimaste tutte su valori inferiori rispetto al periodo estivo, compresi tra 92 mg/m_2h e 155 mg/m_2h. I valori emissioni riscontrati sono in linea con quanto stimato utilizzando le linee guidi di riferimento EMEP/EEA 2023. Si è evidenziato come le emissioni siano ben correlate con la stagione dell'anno, con l'estate che produce emissioni superiori all'inverno e che una buona ventilazione della stalla sebbene sia positiva per il benessere animale, è ben correlata con le emissioni.

1. Introduzione

1.1 Le caratteristiche chimiche dell'ammoniaca e problematica ambientale derivante dal settore zootecnico.

Ammoniaca è una sostanza gassosa e tossica di odore intenso, ad essa si attribuisce una struttura a piramide triangolare. Nella molecola dell'ammoniaca sono presenti tre atomi di idrogeno ed uno di azoto, che donano una forma, ovvero l'atomo di azoto centrale è legato a tre atomi di idrogeno formando così la piramide. Per quanto riguarda l'ibridazione l'atomo di azoto subisce l'ibridazione SP^3. L'ammoniaca è una base debole, in quanto la coppia solitaria sull'atomo di azoto può accettare un protone (Vallitutti, 2017).

A temperatura ambiente, l'ammoniaca (NH_3) (Fig.1) è un gas, ma può essere facilmente liquefatta a basse temperature o sotto pressione. Proprietà fisiche e chimiche;

- Formula chimica: NH_3
- Massa molare: 17,03 g/mol
- Punto di fusione: -77,7 °C
- Punto di ebollizione: -33,3 °C

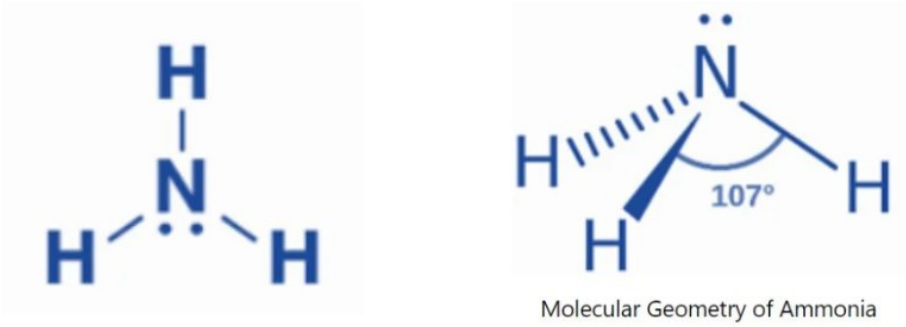

Figura 1 Struttura molecolare dell'ammoniaca

La solubilità, la quantità massima di soluto che si può sciogliere in una determinata quantità di solvente ad una determinata temperatura, varia da sostanza a sostanza e dipende sia dalla natura del soluto sia da quella del

solvente. NH_3 risulta molto solubile ad esempio in H_2O. (Carmine Rubino et al., 2019)

1.2 Le emissioni di NH_3 del settore agricolo

L'ammoniaca, prodotta principalmente dalla degradazione dell'urea presente nei reflui zootecnici, è un gas irritante e dannoso, che contribuisce all'acidificazione del suolo, all'eutrofizzazione delle acque e alla formazione di particolato fine (PM2.5).

La principale fonte di azoto ammoniacale è l'urea, seguito dalla decomposizione anaerobica della materia organica con contenuto proteico. L'azoto ammoniacale si trova nel mezzo liquido in forma ionizzata (NH_4^+) e sotto forma di NH_3. Il bilancio NH_4^++/NH_3 dipende dal pH e dalla temperatura; all'aumentare della temperatura o del pH. (Pistara, 2008).

Il settore agricolo è responsabile del 96% delle emissioni di ammoniaca. Di queste il 55% proviene dalla gestione delle deiezioni, il restante 41% ha origine dai suoli agricoli. Le emissioni derivano dagli animali e dalle loro deiezioni. La problematica è legata in particolare alla gestione degli effluenti, in quanto la loro quantità, struttura e composizione influisce sulle emissioni derivate dalle seguenti fasi di processo:

- Stabulazione
- Stoccaggi
- Trattamenti
- Spandimenti

Il successivo grafico rappresenta come le emissioni di NH_3 vengono distribuite sul suolo italiano (Fig 2). Tre sono i punti ben evidenziati grazie alla loro elevata quantità di emissione di ammoniaca. Le aziende agricole producono diverse quantità di NH_3 in base a che tipo di ricoveri; quindi, a che tipo di stabulazione

presentano, ovvero stalle che presentano una stabulazione fissa, quindi con animali legati, sono una fonte maggiore di emissioni di ammoniaca. Lo stoccaggio rappresenta un altro fondamentale punto, ovvero la modalità con cui letame e liquame rimangono in azienda influenza la concentrazione di ammoniaca rilasciata, il letame (deiezioni animali solide siccome è presente anche la paglia) vengono distribuite nei campi per facilitarne la crescita la stagione successiva, così come i liquami (deiezioni liquide degli animali) vengono distribuite nei prati, causando quindi un aumento di concentrazione di ammoniaca nell'ambiente esterno.

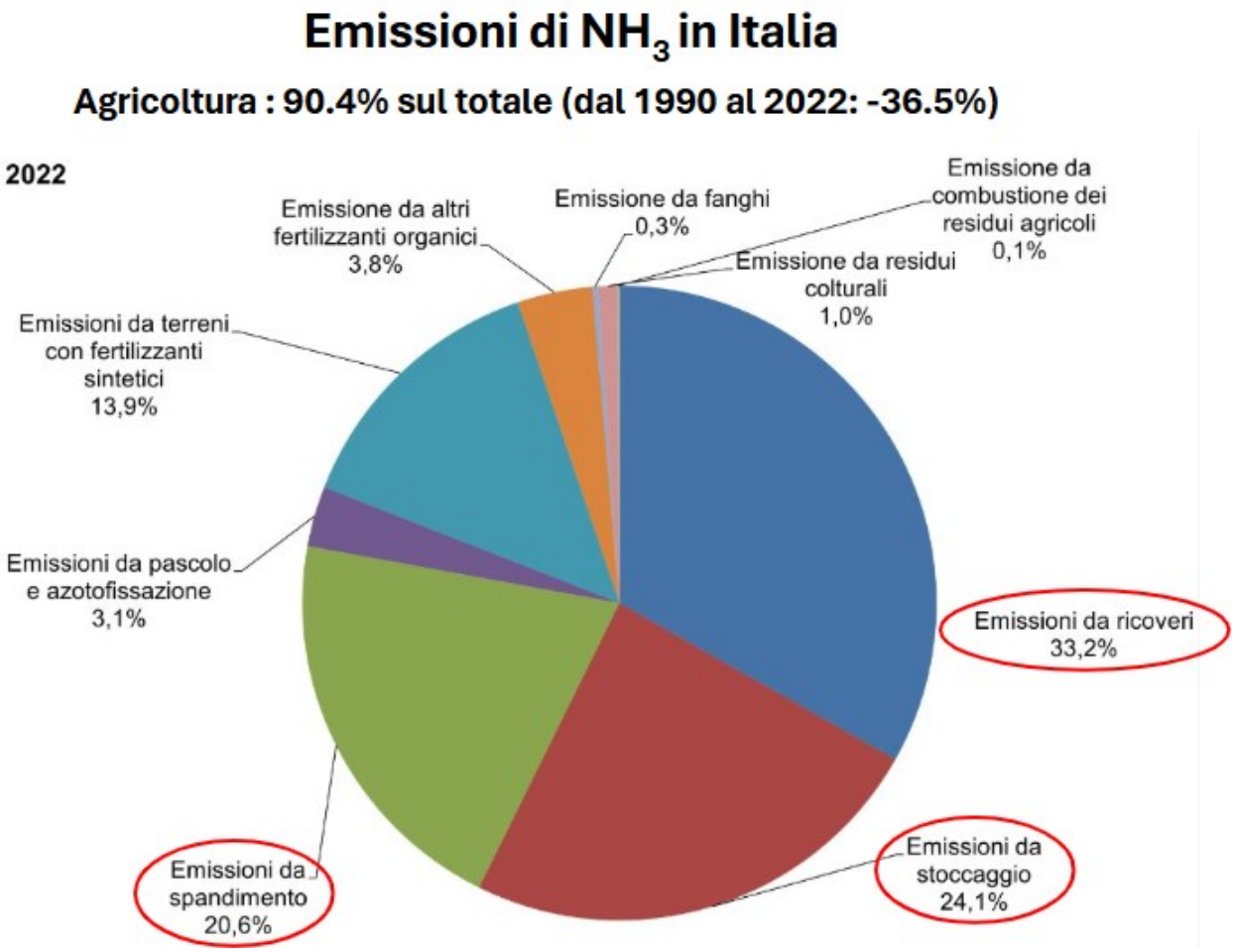

Figura 2 Grafico a torta sulle emissioni di NH3 in Italia.

Nel successivo grafico (Fig 3), vengono indicate, a partire dagli anni ’90, le emissioni di NH3 in atmosfera prodotte sia dal settore agricolo che quelle nazionali, inoltre viene indicato un “obbiettivo” ovvero una soglia massima che si deve cercare di non raggiungere, tale obbiettivo è stato dichiarato sia per l’anno 2020 che per l’anno 2030; si può notare che per ora siamo al di sotto della soglia massima. Quelle prodotte dal settore agricolo sono dovute principalmente alla gestione degli allevamenti e all’uso dei fertilizzanti, e permette di valutare il peso del settore rispetto al totale delle emissioni nazionali e il raggiungimento degli obiettivi di riduzione. Nel 2023, il settore agricoltura è responsabile dell’emissione in atmosfera di 349,23 kt di NH_3, pari a 96% del totale nazionale e registrando una riduzione del 18% rispetto al 2005 contribuisce, quindi, in modo decisivo al raggiungimento dell'obiettivo prefissato.

L'andamento delle emissioni di NH_3 è in linea con gli obiettivi fissati dal Protocollo di Göteborg e dalla Direttiva sui limiti nazionali di emissione (Direttiva NEC – *National Emission Ceiling*). Di seguito troviamo;

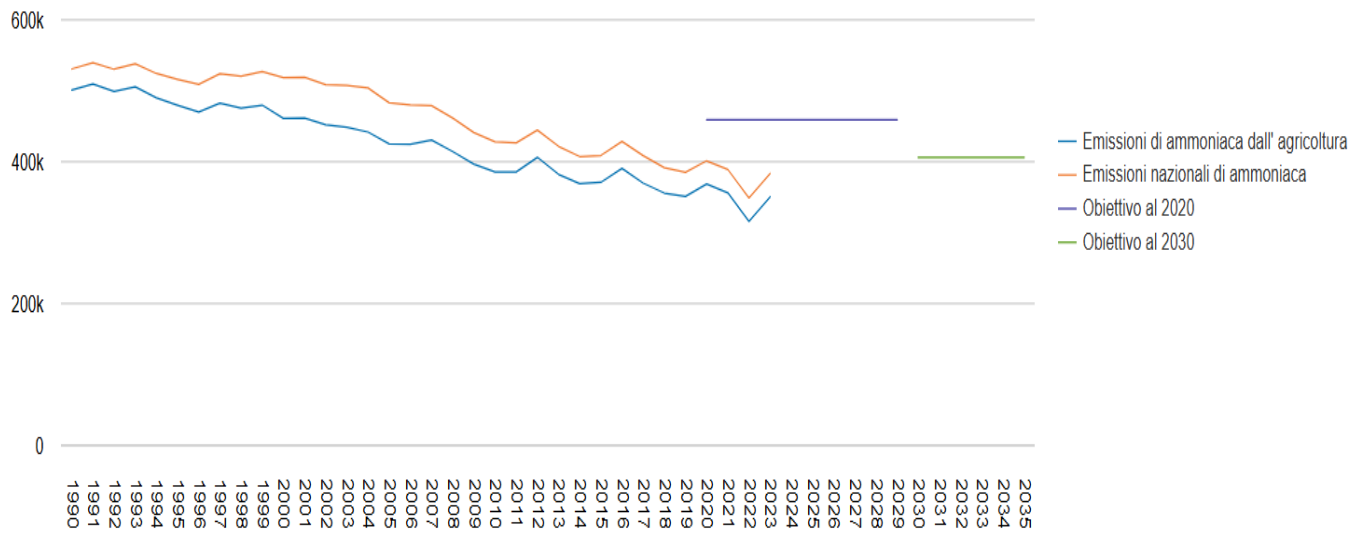

Figura 3 Andamento delle emissioni di ammoniaca

La linea segmentata di colore blu (Fig. 3) descrive le emissioni di ammoniaca (NH_3) in atmosfera prodotte dal settore agricolo e principalmente dalle forme intensive che esso ha assunto negli ultimi decenni. In particolare, vengono considerate le emissioni prodotte dall'utilizzo esteso dei fertilizzanti sintetici e organici e dalla gestione degli allevamenti (emissioni dal ricovero e dallo stoccaggio). La deposizione di NH_3 contribuisce a diversi problemi ambientali, quali l'acidificazione dei suoli, l'alterazione della biodiversità e l'eutrofizzazione delle acque; inoltre, essa interviene nella formazione del particolato, con conseguenze sulla salute umana. La quantificazione delle emissioni di NH_3 avviene attraverso appropriati processi di stima definiti dalle metodologie indicate nel manuale di riferimento EMEP/EEA (EMEP/EEA, 2019) concernente l'inventario delle emissioni atmosferiche (Di Cristofaro et al., 2025).

Le emissioni di gas serra dal settore dell'agricoltura hanno raggiunto il picco nell'anno 1991, ma sono restate sostanzialmente costanti per tutti gli anni'90 (Fig. 4). Nel primo decennio del secolo sono gradualmente diminuite, per poi stabilizzarsi nuovamente nel corso del decennio 2010-2019. Gli anni 2020 e 2021 si attestano su livelli di emissioni leggermente superiori rispetto al decennio precedente, ma non appare un cambiamento di trend del settore. L'anno 2023 mostra un lieve aumento rispetto al 2022 e rappresenta l'84% delle emissioni rispetto il 1990. Le emissioni del settore sono gradualmente diminuite grazie ad una progressiva riduzione del numero di capi allevati e ad un minor utilizzo dei fertilizzanti sintetici utilizzati sui suoli agricoli (Ispra emissioni agricoltura, 2023).

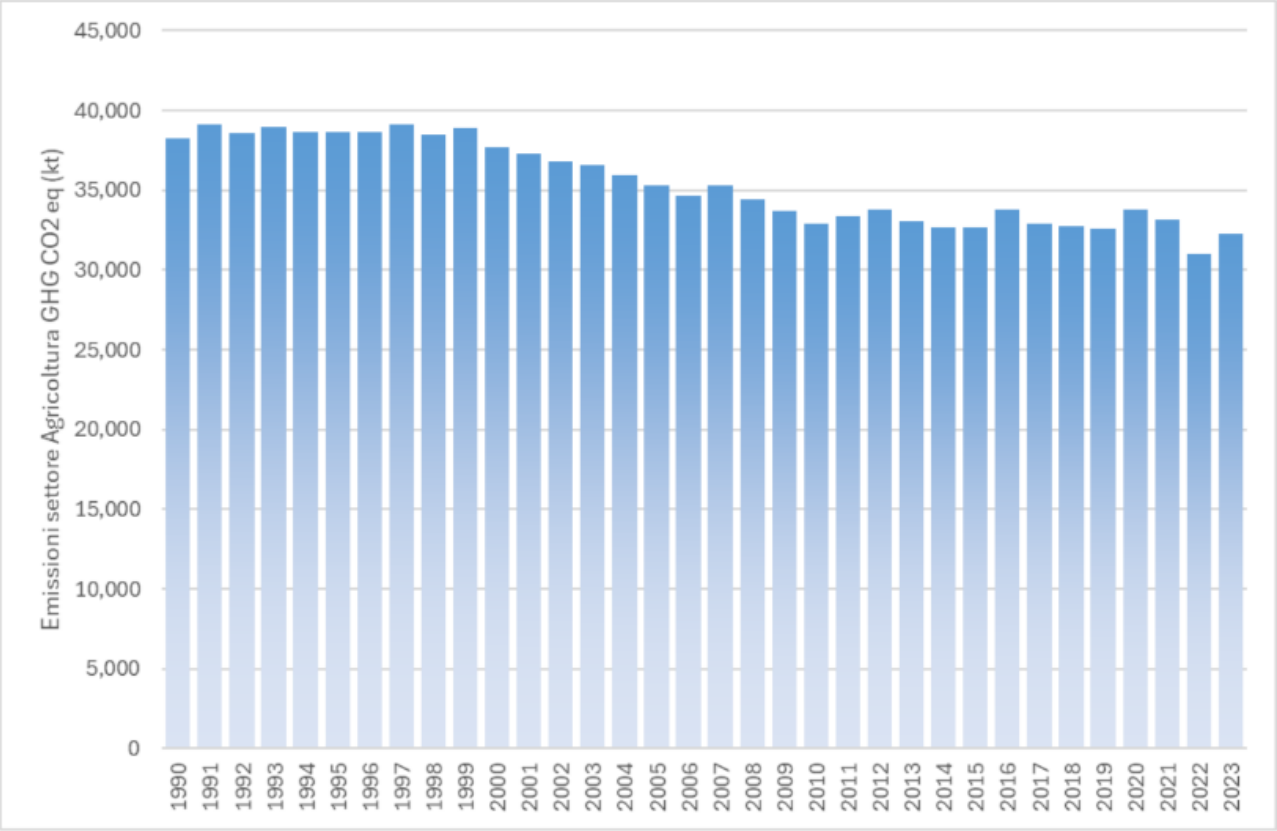

Figura 4 Emissioni dettate dal settore agricolo

Come già detto precedentemente, le emissioni dal settore dell'agricoltura sono scomponibili in diversi punti (Fig. 5), nella legenda del grafico troviamo;

- Fermentazione enterica; è un processo digestivo mediante il quale i microrganismi scompongono i substrati, soprattutto i carboidrati in molecole più semplici, consentendo il loro assorbimento nel flusso sanguigno di un animale. La fermentazione avviene principalmente nell'intestino crasso tranne che nei ruminanti dove avviene nel rumine. Genera circa il 43% sul totale.
- Gestione delle deiezioni; in base a come vengono gestiti gli stoccaggi delle deiezioni le emissioni possono variare, in media rappresentano circa il 21% sul totale.
- Coltivazione di riso; sono le coltivazioni che emettono di più rispetto alle altre, sul totale però influenzano solo con un 6% circa.

- Suoli agricoli; è un'altra grande fetta di emissioni, sul totale rappresenta circa il 30% che però si può suddividere a sua volta in due piccoli punti, ovvero la distribuzione delle deiezioni (letame e liquame) nel suolo agricolo, che consiste nel 20% circa e sulla distribuzione dei fertilizzanti sempre nel suolo agricolo, che rappresenta il restante 10%, quest'ultime emissioni quindi non sono causate dagli animali direttamente.
- Combustione ed urea/carbonati; infine, per circa 1.5% sul totale, troviamo l'applicazione di urea e carbonati nei suoli e la combustione dei residui agricoli.

Nell'annata 2023 si è calcolato che le emissioni dettate dalla gestione degli allevamenti corrisponde a circa il 76% del totale del settore agricolo (Ispra emissioni agricoltura, 2023).

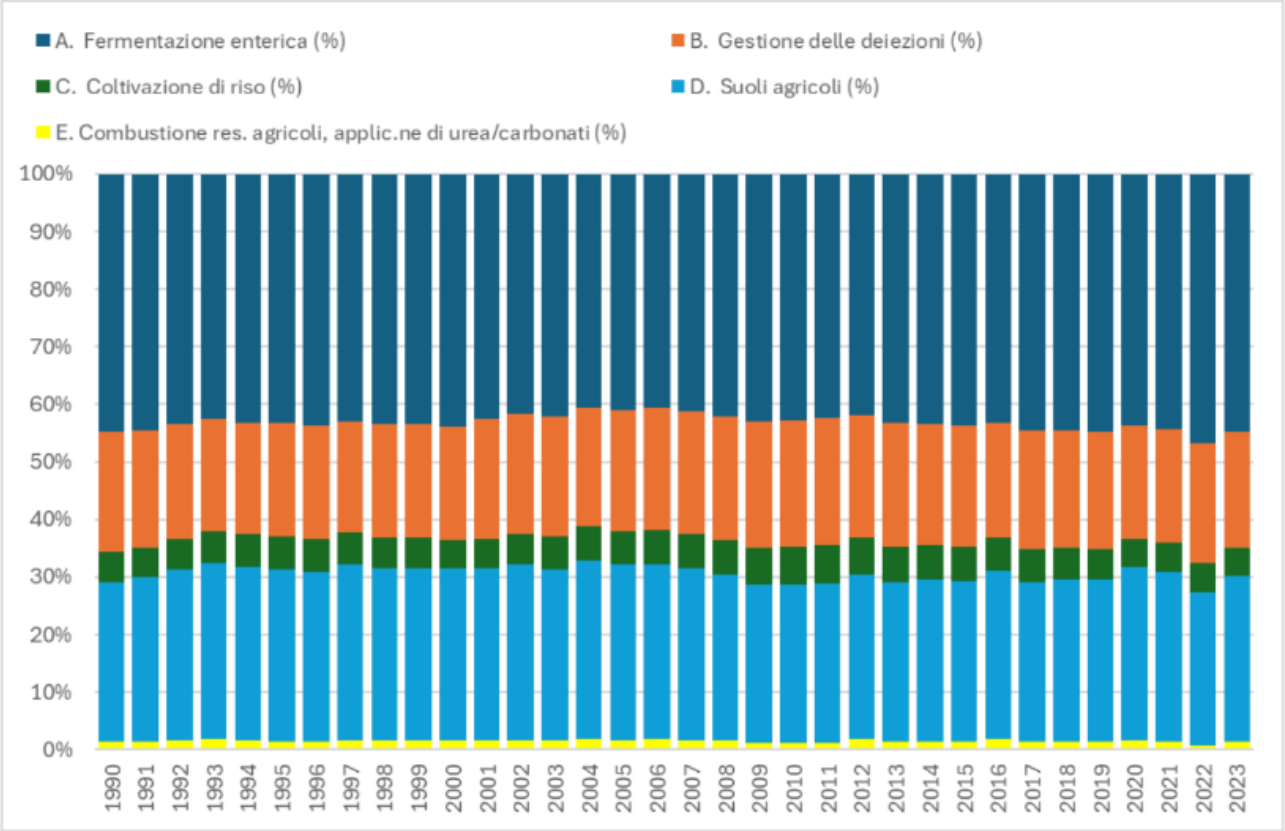

Figura 5 Principali responsabili delle emissioni nel settore agricolo

Si può inoltre fare una differenza sulla tipologia di animale, ovvero grazie al prossimo grafico possiamo capire come la concertazione di emissione è influenzata dalla tipologia di animale. Ovviamente si può notare subito come animali di grossa taglia, per ovvi motivi, rappresentano la fetta più grande del grafico, ovvero oltre il 65% delle emissioni deriva da vari tipi di bovini, i suini seguono con circa il 13%, mentre gli ovini non raggiungono nemmeno il 10%. Salta all'occhio anche come la famiglia dei caprini non raggiunga nemmeno 1% sul totale, grazie alla loro piccola taglia e ai metodi di stabulazione delle nuove stalle (Fig. 6).

Per restare in tema con l'ammoniaca sappiamo che il settore dell'agricoltura rappresenta il maggior produttore di NH_3, che costituisce un precursore del particolato fine (PM) e contribuisce successivamente all'acidificazione e all'eutrofizzazione degli ecosistemi, influenzando di conseguenza gli esseri viventi che li colonizzano. Va detto però, che con il passare degli anni, le

emissioni sono diminuite, grazie soprattutto agli accorgimenti fatti e alle leggi che durante il tempo son state emanate e fatte rispettare, al fine di diminuire l'emissione di ammoniaca per il bene di tutto il pianeta, si è calcolato che l'anno 2023 rappresenta circa il 70% sul totale rispetto agli anni 90.

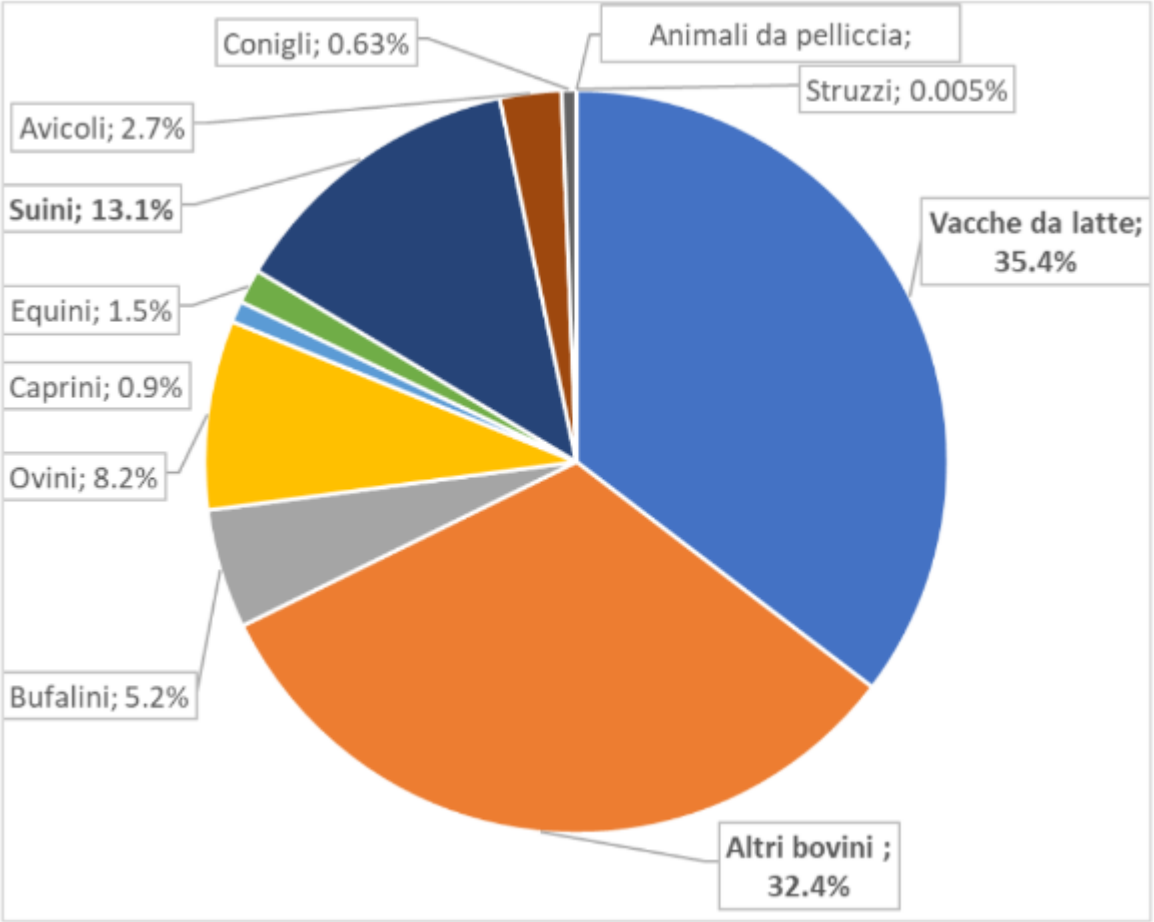

Figura 6 Grafico a torta che rappresenta gli animali responsabili di emissioni di GHG

Il settore dell'agricoltura risulta essere la principale fonte di emissione di ammoniaca, che costituisce un precursore del particolato fine (PM) e contribuisce all'acidificazione e all'eutrofizzazione degli ecosistemi. Però le emissioni sono gradualmente diminuite con il passare del tempo; infatti, nel 2023 l'ammontare totale è pari a circa il 70% rispetto al 1990.Il calo delle emissioni è collegato sicuramente al calo dei capi del bestiame, alla riduzione dell'uso dei fertilizzanti sintetici e alla diffusione di tecniche d'abbattimento delle emissioni. Ogni categoria di animale, in base alla sua taglia, dieta e tipologia di stabulazione,

presenta quantità di emissioni differenti, come mostrato nella prossima figura (Fig. 7). Animali di grosse taglie come bovini e suini contribuiscono parecchio alle emissioni di ammoniaca (Ispra emissioni agricoltura, 2023).

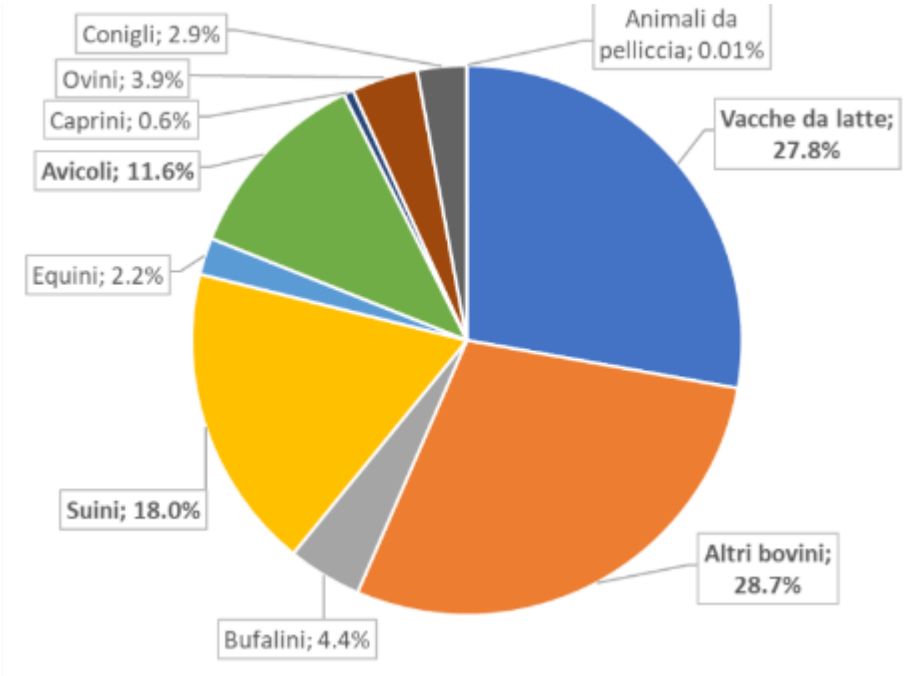

Figura 7 Contributo alle emissioni di ammoniaca da allevamenti per categoria % - 2023

1.2.1 Metodi di stima delle emissioni di NH_3

Il BAT-TOOL è il software di appoggio utilizzato da Regione Lombardia per la stima delle emissioni dagli allevamenti. Costruito a partire dalle equazioni descritte nelle linee guida internazionali (IPCC 2006 e EMEP/EEA 2013). (Fig.2)

Obiettivi:

- fornire la stima delle emissioni di tutto il settore, mediante l'utilizzo di un metodo consolidato;
- consentire di rappresentare la situazione aziendale con un numero limitato di informazioni;
- permettere la comparazione di diversi scenari di intervento per verificare l'applicazione delle MTD.

La quantificazione dell'emissioni dagli allevamenti è una sfida poiché esistono diverse fonti di incertezza, dovuti a:

- Variabilità spazio-tempo -> CAMPIONAMNETO
- Errore associato alla misura -> METODOLOGIA

Gli errori possono essere di varie tipologie, ovvero possono essere casuali, sistemici o modellistici.

Per quanto riguarda la misura delle emissioni, ci sono vari fattori in gioco, ad esempio si tengono in considerazione la fase fisiologica dell'animale, la sua razza e linea genetica. Inoltre, è importante conoscere la dieta e la tipologia di stabulazione (lettiera, tipo di pavimentazione) Per quanto riguarda i parametri fisico-chimici si tengono in considerazione temperatura ventilazione/velocità dell'aria e pH del refluo (Guarino et al., 2015).

1.3 L'origine delle emissioni di NH_3 dal settore zootecnico

L'emissione di ammoniaca (NH_3) da parte delle capre è un tema specifico e poco trattato nella letteratura scientifica, ma possiamo fare un'analisi combinando fisiologia animale, gestione degli allevamenti e chimica dei rifiuti zootecnici.

Origine dell'ammoniaca nelle capre

L'ammoniaca non viene emessa direttamente dalle capre come un gas nel respiro, ma è principalmente prodotta:

- Dal metabolismo dell'azoto: le capre, come altri ruminanti, assumono proteine che vengono degradate a livello ruminale e poi convertite in composti azotati, tra cui l'ammoniaca.
- Dall'urina e dalle feci: la maggiore fonte di ammoniaca ambientale è l'escrezione. L'urea contenuta nell'urina viene idrolizzata da enzimi ureasi

(presenti nel suolo, nelle feci, o nei microbi ambientali), rilasciando ammoniaca.

Fattori che influenzano l'emissione di ammoniaca dalle capre

Le emissioni di NH_3 dipendono da vari fattori:

- Dieta: diete ad alto contenuto proteico aumentano l'escrezione di azoto e quindi la produzione di ammoniaca.
- Gestione delle deiezioni: la modalità di raccolta e stoccaggio delle deiezioni incide moltissimo. Lettiere asciutte e ventilazione possono ridurre le perdite di ammoniaca.
- Ambiente (temperatura, umidità, pH del suolo/lettiera): condizioni calde e umide favoriscono la volatilizzazione dell'NH_3.

Le capre rispetto ad altri ruminanti

- Le capre, rispetto a bovini o suini, producono meno ammoniaca in termini assoluti, semplicemente perché:
    - Hanno minore massa corporea
    - Consumano meno proteine totali
    - Producono meno deiezioni per capo

Tuttavia, in allevamenti intensivi di capre da latte, specie in ambienti chiusi, le emissioni di ammoniaca possono diventare significative e vanno gestite per motivi ambientali e sanitari.

Studi specifici sulle capre

Ci sono pochi studi mirati esclusivamente sulle emissioni di ammoniaca da capre, ma esistono ricerche in ambito:

- Allevamenti caprini intensivi
- Valutazione dell'impatto ambientale della produzione di latte caprino
- Mitigazione delle emissioni tramite dieta e gestione delle lettiere

Alcune stime indicano che le emissioni di ammoniaca da un allevamento caprino intensivo possono variare tra 1 e 5 Kg di NH_3 a capo per anno, sempre influenzato da dieta, tipologia di stabulazione e quindi lettiera, e dalla gestione dei reflui. La ventilazione gioca un ruolo fondamentale sulla concentrazione di ammoniaca; infatti, la scarsa ventilazione o comunque una progettazione inadeguata degli spazi può causare l'accumulo eccessivo di NH_3 nell'aria interna alla stalla, causando di conseguenza problemi sia ad animali che ad operatori che vi lavorano all'interno. Per riprendere il discorso delle lettiere, se quest'ultime non vengono cambiate ed areate frequentemente si ha un accumulo di urea ed umidità che favorisce la volatilizzazione dell'ammoniaca. Va considerato anche un aumento dell'attività batterica che ovviamente non rappresenta un punto a favore per gli animali presenti.

1.4 Obiettivo

Considerando che le emissioni di ammoniaca dal settore caprino non sono state studiate in modo approfondito, la presente tesi ha l'obbiettivo di monitorare 3 aziende lombarde al fine di valutare l'entità delle emissioni e di studiare i fattori che hanno maggiore influenza su di esse.

2 Materiali e metodi

2.1 Descrizione aziende monitorate

- **Bagaggera:**

  L'azienda agricola La Bagaggera (Fig. 8) si trova nella provincia di Lecco, nel comune di La Valletta Brianza. Azienda di tipo biologico che ha un allevamento di capre da latte di razza camosciata, oltre ad un allevamento di suini all'aperto e un pollaio sempre all'aperto. L'allevamento di capre è a ciclo chiuso, con rimonta interna e uso prevalentemente di riproduzione naturale. L'alimentazione deriva principalmente da coltivazioni interne, ovvero i prati/campi che forniscono fieno, mais, cereali ed orzo sono di proprietà, oltre a quest'ultimi è presente anche un pascolo utilizzato prevalentemente nei mesi da aprile ad ottobre. Per quanto riguarda la trasformazione dei prodotti il latte di capra viene trasformato in formaggi freschi e stagionati, yogurt e ricotta nel caseificio interno. L'azienda la Bagaggera è anche una "Fattoria didattica e sociale" collaborando con molti ragazzi.

Figura 8 Immagine rappresentativa interno stalla Bagaggera

- **Boscasso:**

  L'azienda agricola Boscasso (Fig. 9) si trova nella località di Ruino, sotto la provincia di Pavia, nel comune di Colli Verdi. Azienda caratterizzata dalla presenza di un allevamento di capre da latte di razza Camosciata delle Alpi, conferisce il latte al proprio caseificio al fine di vendere i trasformati oppure utilizzarli per scopo alimentare presso l'agriturismo Il Boscasso. Presenta una sala mungitura a Palchetto attrezzata con 12 poste suddividendo la mungitura in circa 6 gruppi, durante il periodo di lattazione, come quasi tutte le aziende agricole, le capre vengono munte due volte al giorno. Il latte, lavorato crudo nel caseificio interno, viene trasformato in formaggi, yogurt, ricotta ed altre specialità. Affianco alla stalla vi è un agriturismo dove si possono consumare tutti i prodotti precedentemente elencati.

Figura 9 Immagine rappresentativa interno stalla Boscasso

- **Colmetto:**

L'azienda agricola Colmetto (Fig. 10) si trova a Rodegno saiano, in provincia di Brescia e ha un allevamento di capre Saanen per la produzione di latte. Trasformano quest'ultimo direttamente in azienda, nel piccolo caseificio interno, dove vengono prodotti formaggi freschi e stagionati, yogurt e budini di capra. Quest'ultime possono essere acquistate nello spaccio situato in azienda oltre che nell'agriturismo sempre presente in azienda.

Figura 10 Immagine rappresentativa interno stalla Colmetto

PARAMETRI RILEVATI NELLE STALLE MONITORATE

Sono stati descritti e studiati diversi parametri nelle tre aziende oggetto di studio, per ognuna delle tre inizialmente si è cercato di capire le dimensioni della stalla, ovvero sono stati richiesti i m^2 di superficie totale per la stabulazione, il numero di animali presenti ed il loro relativo peso; questi sono parametri che vengono raccolti direttamente in stalla. Successivamente si è cercato di capire, semplicemente con dei calcoli, il rapporto superficie/capo, controllando se la superficie minima a capo fosse sufficiente. Oltre ai m^2 utili per la stabulazione, sono stati rilevati i m^3, quindi il volume della stalla, utile anch'esso per capire se il rapporto volume m^3/capo sia corretto. Gli ultimi due dati che sono stati studiati in tutte e tre le aziende interessano le aperture, ovvero le dimensioni espresse in m^2 sia di finestre che di portoni, ovvero di tutte le aperture che permettano l'ingresso e di conseguenza l'uscita dell'aria dalla stalla. Questi ultimi due dati sono fondamentali successivamente quando verrà presa in considerazione la ventilazione.

2.2 Monitoraggio della qualità dell'aria nelle aziende

Il monitoraggio della qualità dell'aria si è svolto distinguendo per ciascuna azienda due periodi, uno freddo e uno caldo. Le date di osservazione sono state fatte cercare di coincidere nei momenti in cui avvenisse il cambio di lettiera, così da poter ricavare dati sia nei momenti in cui la stalla presentava una lettiera pulita sei nei momenti in cui invece la stalla presentava una lettiera sporca. I controlli nelle tre aziende sono stati effettuati in periodi diversi, ovvero;

- **Bagaggera:**
    - Inverno; dal 16/01/2023 al 04/02/2023
    - Estate; dal 26/06/2023 al 10/07/2023
- **Boscasso:**
    - Inverno; dal 03/03/2023 al 15/03/2023
    - Estate; dal 23/08/2023 al 30/08/2023
- **Colmetto:**
    - Inverno; dal 28/12/2022 al 12/01/2023
    - Estate; dal 14/07/2023 al 28/07/2023

Il monitoraggio si è svolto mediante la combinazione di diverse operazioni:

Per prima cosa la misurazione dei parametri ambientali è stata effettuata per mezzo dell'installazione di tre centraline N11 (IBT systems srl – Milano) (Fig.8). In ogni azienda studiata si è cercato di disporre le centraline in punti strategici, così da poter occupare tutto lo spazio disponibile e rilevare la qualità dell'aria in maniera ottimale.

Le centraline impiegate nei monitoraggi sono prototipi sviluppati in collaborazione tra l'Università degli Studi di Milano con la ditta IBT Systems. Queste centraline sono dotate di sensori (Fig. 11) per la misurazione dei parametri ambientali di interesse per le finalità del progetto. È possibile aggiungere o

rimuovere i sensori sensibili ai gas a seconda delle esigenze. Nel complesso, esse forniscono dati relativi ai seguenti parametri:

- Concentrazione di gas (CO_2 – NH_3 – H_2S) [ppm]
- Temperatura [°C]
- Umidità relativa [%]
- Luminosità [lux]
- Rumorosità [dB]
- Polveri sottili (PM1 - PM2.5 - PM4 - PM10) [µg/m3]

Parameter	Sensor	Type	Range	Accuracy
NH_3	4NH3-100 (SGX sensortech)	Electrochemical	0...100 ppm	± 10%
CO_2	SCD30 (sensirion)	Nondispersive infrared (NDIR)	400...10000 ppm	30 ppm
H_2S	4H2S-100 (SGX sensortech)	Electrochemical	0...100 ppm	± 2%
Temperature	SHT3x/SHT4x	CMOSens	-40...+125 °C	± 0.1 °C
Humidity	SHT3x/SHT4x (sensirion)	CMOSens	0...100%	± 2%
Particulate matter	SPS30 (sensirion)	Laser scattering	0...1000 µg/m3	± 10 µg m^{-3} ($PM_{2.5}$) ± 25 µg m^{-3} (PM_{10})

Figura 11 Caratteristiche principali dei sensori installati sulle centraline

Il sensore che rileva la CO_2 è un infrarosso e viene calibrato direttamente sulla centralina assegnando il valore di 400 ppm dopo la stabilizzazione del segnale a seguito della sua esposizione all'aria ambiente in un locale ventilato privo di persone per alcune ore. I sensori che rilevano la concentrazione di NH_3 e H_2S sono di tipo elettrochimico: il loro funzionamento (Fig. 12) si basa sul fatto che i gas presenti nell'atmosfera reagiscono con uno specifico gas generando una tensione elettrica a livello del sensore; ad ogni valore di tensione (mv) corrisponde un valore di concentrazione (ppm). Per questo motivo tende a consumarsi nel tempo in funzione dell'esposizione al gas target. La durata di questi sensori è pertanto variabile, il che ha portato a controlli periodici sul loro

corretto funzionamento e a ricalibrazioni successive nei casi in cui ve ne sia stata la necessità.

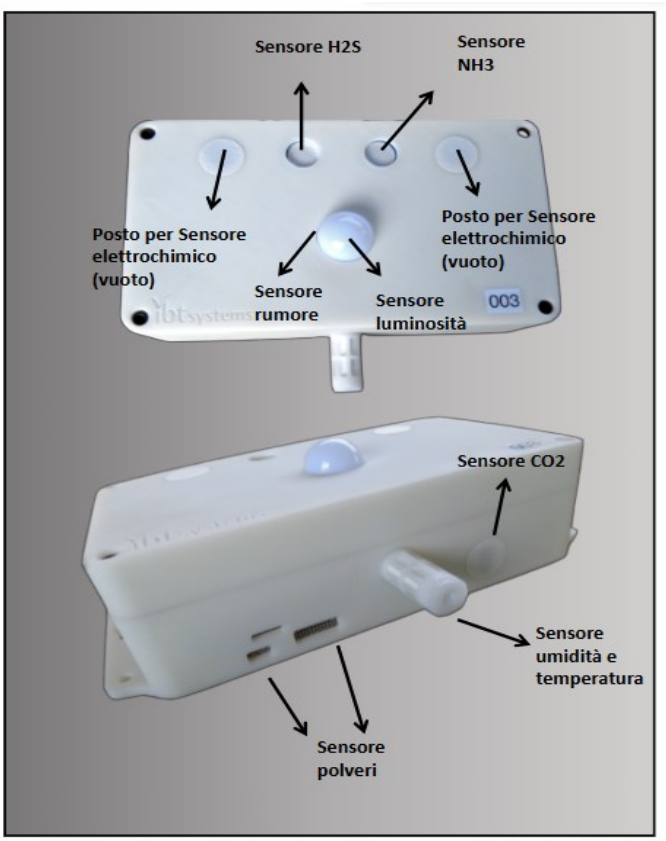

Figura 12 Centralina utilizzata per il monitoraggio dei parametri ambientali con il dettaglio della sensoristica installata.

Le centraline trasmettono dati al gateway (Fig. 13) il quale, dotato di una scheda SIM connessa alla rete Internet, trasmette i dati visibili attraverso la dashboard dell'applicazione Gala (risultato operativo del progetto "GALA" finanziato dal Piano di Sviluppo Rurale (PSR) della regione Lombardia, a cui ci si è appoggiati). L'invio di pacchetti di dati avviene ogni dieci minuti. Al termine del rilievo, i dati vengono scaricati in formato Excel.

Figura 13 Modalità di funzionamento del sistema di monitoraggio utilizzato per rilevare la qualità dell'aria nelle stalle.

La calibrazione dei sensori elettrochimici per la misura di NH_3 e H_2S si attua esponendo i sensori ad un flusso di azoto per definire il valore di zero e ad un flusso di una miscela di gas a concentrazione nota per il gas in questione, in particolare è stata individuata la concentrazione di 10 ppm per l'NH_3 e 5 ppm per l'H_2S; il dispositivo genera un voltaggio che, quando stabilizzato, corrisponde alla concentrazione nella miscela utilizzata. A questo punto si assegna al valore di voltaggio [mV] il valore della concentrazione [ppm] sia per lo zero che per il valore a concentrazione nota ottenendo così la retta di calibrazione necessaria a derivare tutti gli altri valori che il sensore può rilevare in aria.

Due centraline sono state posizionate all'interno dei box degli animali, a circa 1.3 m di altezza. Essendo però quest'ultime delicate e soprattutto prese in considerazione dalla curiosità delle capre (soprattutto nei momenti successivi all'installazione), sono state previste delle gabbie di acciaio per proteggerle (Fig.

14). Una delle centraline è stata posizionata all'esterno della stalla, così da essere in grado di ricavare i parametri precedentemente descritti all'esterno.

Figura 14 Gabbia realizzata in rete di acciaio, utile per la protezione della centralina

Oltre alle centraline, la misurazione della concentrazione in aria di CO_2, NH_3 e H_2S è stata effettuata grazie l'utilizzo delle fialette Dräger (Fig.15), che abbiamo utilizzato in prossimità delle centraline e a livello della lettiera, sia al momento dell'installazione sia allo smontaggio. Le fialette Dräger sono strumenti che consentono la misurazione della concentrazione di gas nell'aria in un determinato punto dello spazio. La strumentazione è costituita da una pompetta e dalle fiale colorimetriche graduate, disponibili in più tipologie a seconda del gas che si intende ricercare. La pompa a soffietto (Accuro) crea una depressione, la quale genera un flusso di aria che transita attraverso la fialetta colorimetrica, che si colora in presenza del gas di cui è indicatore. Sulla pompa si trova un contatore del numero di pompate e un indicatore che segnala la fine del processo di

aspirazione. Le fiale vengono private delle estremità (con uno strumento adatto) prima di essere inserite nell'apposito foro presente sulla pompa. Accuro e orientate come indicato sulle stesse. Ogni tipologia di fiala ha un numero specifico di pompate da effettuare, indicato sulla fiala stessa: al termine delle pompate prestabilite si legge la concentrazione del gas direttamente sulla scala graduata, in corrispondenza del limite del tratto colorato.

Figura 15 Misura della concentrazione in aria di NH_3 e CO_2, in prossimità di una centralina, tramite l'utilizzo di una fialetta Drager

2.3 Elaborazione dei dati

Una volta elaborati i dati è importante confrontarli ed accertarsi che i risultati che si sono ottenuti siano adeguati ad una corretta stabulazione degli animali. La superficie di stabulazione espressa in m^2 assume una notevole importanza in base da quanti animali viene calpestata ed in base alle loro dimensioni (Tab. 1).

Capretti che hanno un peso inferiore di 12 kg necessitano di circa 0,3 m^2/capo se non raggiungono i 15 capi, se i capi sono superiori servono almeno 0,2 m^2 per ogni animale in più. Lo stesso discorso si fa con le capre, in base alle loro dimensioni necessitano di diverse stabulazioni, ad esempio capre che si aggirano dai 23-40 kg necessitano di circa 1,2 m^2/capo sempre se gli animali non superano i 15 capi, viceversa se li superano necessitano di circa 1,0 m^2/capo per ogni animale in più; capre o becchi che possono pesare anche 70kg necessitano di 2,2 m^2/capo e fino a 2 m^2/capo per ogni animale in più se i capi in stalla superano i 15 (Democapra, 2020).

Tabella 1 Superfici minime (m2/capo) consigliate dall'ufficio federale di veterinaria della confederazione svizzera.

	Superficie (m^2/capo)		
	Peso (kg)	Fino a 15 animali	Oltre 15 animali (per ogni animale in più)
Capretti	<12	0,3	0,2
Capre e capre nane	12-22	0,5	0,4
	23-40	1,2	1,0
Capre e becchi	40-70	1,7	1,5
	>70	2,2	2,0

Tab. 1. Superfici minime (m^2/capo) consigliate dall'Ufficio Federale di Veterinaria della Confederazione Svizzera (2008)

LA LETTIERA

Fornire un'area di riposo confortevole alle proprie capre significa garantire loro comfort fisico e termico, e dunque una buona stabulazione.

I pochi studi sulla preferenza delle capre per la superficie di riposo evidenziano l'importanza delle condizioni climatiche come criterio di scelta. In particolare, durante il periodo freddo, le capre esprimono un bisogno per una pavimentazione con bassa conduttività termica, ossia verso materiali come il legno massiccio e il materassino. Tale preferenza si sposta verso materiali con un'alta conduttività termica (come, ad esempio, il metallo espanso), quando le temperature ambientali sono moderate. Anche le esperienze vissute in precedenza dagli

animali sembrano influenzare le loro preferenze in termini di superficie di decubito.

Le capre sono solitamente stabulate su una lettiera di paglia che garantisce un buon comfort fisico e termico, sebbene le evidenze scientifiche suggeriscano il fatto che tale materiale di lettiera non sia sempre particolarmente attrattivo per questi animali. Oltre alla paglia, altri materiali organici che vengono utilizzati come lettiera per le capre sono rappresentati dal fieno di scarto e dalla paglia mischiata con altro materiale (come, ad esempio, le foglie raccolte nel sottobosco). La sostituzione della lettiera avviene togliendo totalmente la lettiera sporca e rinnovandola di una nuova, di spessore a discrezione dell'operatore, mentre il rabbocco di lettiera avviene quando si apporta una determinata quantità di paglia sopra quella sporca già presente. L'aggiunta di fieno in lettiera non è tuttavia una pratica da considerarsi corretta in quanto questo materiale fermenta, non ha funzione assorbente e aumenta la carica di batteri "anticaseari". I materiali inorganici come la sabbia e il materassino rappresentano sicuramente un'alternativa interessante ai materiali organici, in virtù di una minor carica batterica, a patto che ad essi vengano assicurate buone condizioni igieniche. A parità di materiale utilizzato, particolare attenzione dev'essere rivolta alla gestione della lettiera nei mesi estivi ed autunnali, quando l'entità della contaminazione microbiologica aumenta a causa delle condizioni ambientali.

Le capre non amano sdraiarsi su superfici bagnate. Una cattiva gestione della lettiera ha conseguenze negative non solo sul benessere delle capre, ma anche sulle produzioni; in presenza di zone umide si possono infatti osservare:

- Diminuzione del tempo di decubito;
- Diminuzione della produzione di latte;

- Aumento delle interazioni agonistiche fra capre per contendersi posti più asciutti in cui sdraiarsi;
- Aumento delle emissioni di ammoniaca e delle patologie alle vie respiratorie associate;
- Maggior imbrattamento degli animali e, conseguentemente, aumento della carica microbica del latte.

Il mantenimento della lettiera permanente in condizioni igieniche ottimali consente, inoltre, di evitare il rammollimento dello zoccolo che potrebbe predisporre alla pedaina e ad altre lesioni podali, che tuttavia sono poco frequenti nella capra. La lettiera deve essere sempre mantenuta pulita ed asciutta: non devono esserci zone della pavimentazione bagnate e/o feci sparse nella lettiera.

Per garantire un livello adeguato di biosicurezza e benessere animale all'interno dell'allevamento, deve quindi essere adottata una corretta gestione della lettiera in termini di frequenza e quantità del rabbocco e della sostituzione. È bene ricordare che la sostituzione del materiale di lettiera dev'essere preceduta dalla pulizia e disinfezione degli ambienti.

Particolare attenzione va posta alla frequenza del rabbocco durante il periodo dei parti: al parto, infatti, le capre rilasciano i liquidi contenuti negli invogli fetali e la placenta, che rendono la lettiera molto umida. In questo periodo, il rabbocco va assolutamente effettuato giornalmente e addirittura in alcuni casi potrebbe essere consigliabile provvedere al rabbocco anche 2-3 volte al giorno.

La tabella successiva (Tab. 2) rappresenta i valori consigliati di frequenza e di quantità di paglia per rabbocco e sostituzione della lettiera. Mettendo a confronto questa tabella con le osservazioni effettuate ad inizio analisi riusciamo a renderci conto se l'azienda opera in maniera corretta oppure no nei confronti della lettiera.

Lo spessore della paglia può influire sull'igiene del materiale di lettiera. Diversi studi hanno evidenziato che l'impiego di una lettiera abbondante porta ad una maggiore contaminazione da enterobatteri, soprattutto durante i periodi più caldi, rispetto all'adozione di una lettiera meno abbondante (1 kg/capo iniziali, con rabbocco di 0,5 kg/capo/giorno). Ciò potrebbe suggerire l'impiego, da parte degli allevatori, di uno spessore del materiale di lettiera più basso, a patto che il rabbocco della paglia venga effettuato giornalmente e che lo spazio disponibile sia adeguato. Se si considera che gli studi esistenti indicano che le capre in natura spesso preferiscono le superfici dure per riposare (soprattutto nei periodi più caldi), ne deriva che l'impiego di una minore quantità di materiale di lettiera possa consentire di rispondere alle esigenze degli animali in termini di benessere, di gestire correttamente l'igiene dell'allevamento e di rappresentare al contempo un vantaggio economico (Democapra, 2020).

Tabella 2 Frequenza e quantità di rabbocco e sostituzione della lettiera necessaria.

	Frequenza	Quantità
Rabbocco	Giornaliera	1 kg/capo/giorno
Sostituzione	Almeno ogni 2 mesi	2 kg/capo iniziali

PARAMETRI AMBIENTALI DELLA STALLA

Il controllo dei parametri ambientali (microclima, illuminazione e della qualità dell'aria) nell'ambiente di stabulazione rappresenta uno dei fattori dai quali più frequentemente possono scaturire situazioni di scarso benessere, e di conseguenza di ridotta produttività. Il controllo del microclima è particolarmente importante: per esempio, se la temperatura ambientale esce dal range di neutralità termica, alle capre sarà richiesto uno sforzo di adattamento, con la

messa in atto di meccanismi comportamentali e fisiologici di termoregolazione. Entro certi limiti, le capre riusciranno a adattarsi, ma questo richiederà un costo energetico che, ovviamente, andrà a scapito delle energie impiegabili per la produzione. Oltre questi limiti, si possono verificare delle condizioni estreme in cui l'adattamento sarà difficile e a volte gli animali non riusciranno a adattarsi, si ammaleranno e, nei casi più estremi, potranno anche soccombere. In funzione di dove si sono evolute, razze diverse rispondono in maniera differente alle temperature ambientali (alcune sono più resistenti al caldo e altre al freddo). Le razze più selezionate sono particolarmente suscettibili allo stress termico a causa della loro scarsa adattabilità.

La tabella successiva (Tab. 3) rappresenta tutti i valori dei parametri ambientali di una stalla. Il THI (Temperature Humidity Index) è un indice combinato di temperatura e umidità ambientale, permette di stimare lo stato di malessere a cui sono soggetti gli animali in condizione di alta temperatura ed elevata umidità dell'aria. La classificazione utilizzata per stimare i differenti livelli di disagio prevede diverse classi di stress per il bestiame e comporta una maggiore condizione di rischio per valori crescenti dell'indice: $65 \leq THI < 68$ possibile disagio; $68 \leq THI < 72$ lieve disagio; $72 \leq THI < 75$ disagio; $75 \leq THI < 79$ allerta; $79 \leq THI < 84$ pericolo e $THI \geq 84$ emergenza (Democapra 2020).

Tabella 3 Parametri ambientali presenti in stalla, confrontati sia nelle capre adulte che in quelle giovani.

Parametri	Categoria di animali			
	Adulti		Giovani	
	Capre in produzione	Becchi	Capretti pre-svezzamento	Caprette da rimonta
THI (Temperature Humidity Index)*	55 - 70			
Umidità relativa (%)	70 - 80			
Velocità dell'aria (m/s; km/h)	0,50; 2		0,25;1	
Volume dell'aria statica minima (m^3/capo)	4-5	8-10	2-5	3-6
Volume aria statica ottimale (m^3/capo)	8-10	12-15	5-6	4-5
Superficie ingresso dell'aria (m^2/capo)	0,06	0,08	0,04	
Superficie uscita dell'aria (m^2/capo)	0,03	0,04	0,02	
Illuminazione:				
• Area vetrata (frazione dell'area totale del ricovero)	≥ 1/15			
• Durata (ore/giorno)	≥ 8			
• Intensità (lux)	≥100			
Polveri (mg/m^3 aria)	< 1,6			
Microrganismi nell'aria (ufc/l aria)	< 250			
Gas nocivi				
• Ammoniaca (ppm)	< 5			
• Anidride carbonica (ppm)	< 2.500			
• Acido solfidrico (ppm)	< 2,5			

Esistono anche delle soglie termiche, ovvero dei range di temperatura entro i quali le capre vivono e conducono la propria vita in maniera ottimale, la temperatura può essere differente in base all'età della capra, per riassumere la tabella successiva ci darà un'indicazione delle temperature ottimali (Tab. 4). (Democapra 2020);

Tabella 4 Range di temperatura ottimali per caprette giovani e per quelle adulte.

	Neutralità termica	Adattamento		Condizioni estreme
	Temperatura (°C)	Temperatura minima (°C)	Temperatura massima (°C)	Temperatura (°C)
Capretti a 5 giorni	13-20	7	25	<0/30
Capretti dopo 5 gg-3 set.	10-18	2	25	<-5/>32
Caprette e adulte	6-16	0	25	<-15/>36

2.4 Il ruolo della ventilazione nelle stalle

Altrettanto importante per il mantenimento di una condizione ambientale adeguata agli animali è il controllo della ventilazione all'interno della stalla. È opportuno, pertanto, che siano garantite delle portate di ventilazione minime, qua dettagliate (Chiumenti - Costruzioni Rurali, 1987, Edagricole):

- ventilazione in estate = 120-150 m^3/h capo (valore massimo)

La ventilazione durante il periodo estivo deve essere maggiore a causa delle possibili elvate temperature che possono manifestarsi, i valori possono anche raggiungere i 120-150 m^3 /h capo

- ventilazione in inverno = 30 m^3/h capo (valore minimo)

Viceversa, la ventilazione durante l'inverno è difficile mantenerla su livelli ottimali, si cerca di raggiungere e oltre passare un valore minimo indicativo di 30 m^3 /h capo, le temperature basse non permettono la completa apertura di portoni e finestre.

La ventilazione nelle stalle è fondamentale per garantire il benessere degli animali, migliorare la produttività e ridurre il rischio di malattie respiratorie o legate allo stress termico. Una buona ventilazione serve a:

- Rimozione dell'umidità in eccesso, per evitare condensa e muffe.

- Eliminazione dei gas nocivi, come ammoniaca, anidride carbonica e metano.
- Controllo della temperatura, quest'ultima gioca un ruolo fondamentale nel benessere degli animali.
- Riduzione delle polveri e degli agenti patogeni, migliorandone la qualità dell'aria.
- Infine, funge anche d'apporto di ossigeno fresco.

Esistono diverse tipologie di ventilazione che si possono utilizzare in stalla, ovvero;

- Ventilazione naturale, ovvero si utilizza il vento e le differenze di temperatura per favorire il ricambio d'aria.
- Ventilazione meccanica, ovvero si utilizzano dei ventilatori elettrici utili per forzare i movimenti di aria verso l'interno e verso l'esterno della stalla.
- Ventilazione ibrida, ovvero l'utilizzo combinato delle due precedenti ventilazioni.

2.5 Stima delle emissioni di NH_3 tramite il bilancio di massa della CO_2.

La stima delle emissioni di NH_3 dalle stalle a ventilazione naturale viene effettuata utilizzando il metodo del bilancio di massa della CO_2 (Pedersen, S., & Sällvik, K. (2002). CIGR 2002. & VERA protocol - Housing). Questo metodo si basa sulle misurazioni della concentrazione dell'inquinante (ad es. NH_3) e di un gas tracciante, che nei contesti zootecnici è la CO_2. In particolare, si deve misurare la concentrazione di CO_2 nell'aria in entrata (aria esterna, fondo) e in uscita (interna alla stalla). Inoltre, è necessario stimare la produzione di CO_2 dagli animali e dalla lettiera in stalla.

Il primo passaggio prevede il calcolo del tasso di ventilazione attraverso la successiva equazione (Equ. 1).

Equazione 1 Calcolo del tasso di ricambio d'aria e delle emissioni

$$Q_t = \frac{C_{prod}}{(CO2_{inside} - CO2_{outside})} \cdot N_{animals},$$

Dove Qt è il tasso di ventilazione totale (m^3 h^{-1}), CO_2 inside e CO_2 outside rappresentano rispettivamente le concentrazioni di CO_2 all'interno e all'esterno della stalla, Cprod è il tasso di produzione stimato di CO_2 per animale fornito in g h^{-1} e N animals è il numero di animali all'interno della stalla. Le fonti di CO_2 all'interno della stalla sono state suddivise in due tipologie: gas prodotto dagli animali e gas emesso da letame e lettiera. La produzione di calore da parte degli animali varia a causa della fisiologia animale, quindi in base alle diverse attività dell'animale come ad esempio mungitura, alimentazione o ruminazione oppure in base alla sua attività fisica abbiamo delle variazioni di produzione del calore (Calvet et al. 2013). La formula per il calcolo del tasso di produzione di CO_2 è presentata nell'equazione (Equ. 2).

Equazione 2 Equazione per calcolare Cprod

$$\mathbf{Cprod} = \frac{0{,}185 * \mathrm{Heatprod} * \mathrm{A}}{1000}$$

Per la stima della CO_2 prodotta dalla lettiera, dove erano disponibili sia la temperatura che la profondità del letame, è stato utilizzato il seguente modello di regressione lineare: CO_2= 18,8 × 1,12 T × 0,15 D ($p<0{,}001$, R2= 73%), dove CO_2 è espressa in g m^2 h^1, Ti è la temperatura espressa in °C e D la profondità espressa in cm. Questa equazione copriva un intervallo di temperatura compreso tra 16 e 50°C e una profondità del letame compresa tra 5 e 75 cm. (Calvet et al.,2022).

La stima delle emissioni di NH_3 è stata calcolata secondo l'equazione (Equ. 3). Dove E è il tasso di emissione della NH_3 (g/h), Qt è il tasso di ventilazione, NH3 indoor e NH3 outdoor sono le concentrazioni di NH3 all'interno e all'esterno della stalla. Infine, l'emissione viene convertita da g/h a mg/m2 h, sulla base della superficie di stabulazione.

Equazione 3 Equazione utile a calcolare le emissioni grazie all'utilizzo di NH3 interna e NH3 esterna

$$E = Q_t * (NH_3 \text{ indoor} - NH_3 \text{ outdoor})$$

2.6 Metodo di riferimento per le stime delle emissioni

Le principali fonti di emissione legate alla gestione del letame includono il nutrimento degli animali e la gestione del letame. - Cinque fonti principali di emissioni: alimentazione del bestiame (PM), letame negli edifici (NH3, PM, NMVOCs), stoccaggio del letame (NH3, NO, NMVOCs), letame applicato ai campi (NH3, NO, NMVOCs) e escrementi durante il pascolo (NH3, NO, NMVOCs). - Le emissioni di NH3 avvengono quando il letame è esposto all'atmosfera, influenzate da fattori come la composizione chimica e la temperatura. - Le emissioni di NO derivano dalla nitrificazione e denitrificazione nel letame stoccato. Le metodologie per calcolare le emissioni di gas serra e inquinanti atmosferici sono suddivise in approcci Tier 1, Tier 2 e Tier 3. - L'approccio Tier 1 utilizza fattori di emissione predefiniti per stimare le emissioni basate sul numero medio annuale di animali. - L'approccio Tier 2 richiede dati più specifici e dettagliati, mentre l'approccio Tier 3 è per paesi con dati sufficienti per calcolare fattori di emissione specifici. - È consigliato utilizzare almeno un approccio Tier 2 per le categorie di bestiame che contribuiscono in modo significativo alle emissioni. Diversi fattori influenzano le emissioni di gas serra e inquinanti atmosferici nella gestione del letame. - Le emissioni di NH3 dipendono dalla categoria di bestiame, dal materiale di lettiera e dal contenuto di azoto

escreto. - È importante disaggregare i dati per specie e tipo di produzione per ottenere stime più accurate. - Le emissioni di PM richiedono dati quantitativi per migliorare la determinazione dei tassi di emissione e la loro variabilità (EEA, 2023).

3. Risultati

3.1 Parametri descrittivi delle stalle studiate

Tutte e tre le Aziende agricole dispongono di un'abbondante superficie di stabulazione espressa in m^2, la maggiore si riscontra al Colmetto con i suoi 374,12 m^2, mentre la più piccola delle tre aziende è al Boscasso con 114 m^2. Il numero di capi presenti nelle aziende può variare in base a che periodo dell'anno siamo di fronte, Bagaggera presenta 120 capi durante il periodo invernale e 110 durante quello estivo, il Boscasso presenta un numero inferiore di capi con 66 capi in inverno e 59 durante l'estate, infine grazie anche alla sua superficie di stabulazione maggiore il Colmetto rappresenta delle tre l'azienda con il maggior numero di capi, compresi tra i 121 e 136 capi durante le stagioni dell'anno. Il peso degli animali si aggira attorno ai 55kg. Per quanto riguarda la stabulazione della lettiera essa varia, ovvero per ogni azienda, la sostituzione di essa può essere settimanale se si tratta ad esempio del Boscasso, mensile al Colmetto oppure il ricambio può essere trimestrale se si parla della Bagaggera, oltre alla sostituzione completa della lettiera ogni azienda effettua dei rabbocchi di lettiera, ciò significa che viene apportata una determinata quantità di paglia sopra la lettiera già esistente. La tabella sottoindicata (Tab. 5) suddivide le 3 stalle oggetto di studio in due periodi, inverno ed estate, per ognuno di questi sono stati raccolti dati che riguardano in primis la struttura, ovvero come è fatta l'azienda agricola e da quanti animali è compresa, grazie a questi due valori riusciamo a notare se ad esempio la superficie espressa in m_2 per capo risulta sufficiente o meno. Una volta studiata la struttura, e quindi di conseguenza la stabulazione delle capre, si può passare a studiare e raccogliere dati sulla lettiera. Innanzitutto, in base alla frequenza sia di sostituzione che di rabbocco della lettiera si riesce a capire se si opera in maniera corretta nei confronti degli animali, per tenerli sempre in condizioni igieniche corrette e anche per evitare eccessi di emissioni di NH_3.

Come si vede dalla tabella le tre aziende operano in maniera diversa, ovvero hanno una frequenza di sostituzione/rabbocco differente; quindi, alcune rispettano i requisiti mentre altre no.

Tabella 5 Riepilogo delle analisi effettuate sulle (stabulazione e lettiera) sulle 3 stalle monitorate.

	Azienda	Boscasso		Bagaggera		Colmetto	
	Stagione	Inverno	Estate	Inverno	Estate	Inverno	Estate
Stabulazione	superficie tot. stabulazione (m2)	114	114	185,11	185,11	374,12	374,12
	n. capi	66	59	120	110	121	126
	categoria animale	Solo capre adulte	Solo capre adulte	Solo capre adulte	Solo capre adulte	Solo capre adulte	Solo capre adulte
	peso capi (kg/capo)	59,4	60	53,4	53,4	60	55
	Superficie a capo (m2/capo)	1,73	1,73	1,54	1,68	2,63	2,53
	Superficie minima (m2/capo)	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
	Rispetto requisiti minimi (SI/NO)	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Sostituzione lettiera	Frequenza	Settimanale	Settimanale	Trimestrale	Trimestrale	Mensile	Mensile
	Rispetto requisiti minimi (SI/NO)	SI	SI	NO	NO	SI	SI
	Quantità (kg/capo giorno)	2,5	2,5	2,5	2,5	7,4	7,1
	Rispetto requisiti minimi (SI/NO)	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Rabbocco lettiera	Frequenza	Quotidiano	Quotidiano	Due volte a settimana	Due volte a settimana	Una volta a settimana	Una volta a settimana
	Rispetto requisiti minimi (SI/NO)	SI	SI	NO	NO	NO	N0
	Quantità (kg/capo giorno)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,41	0,4
	Rispetto requisiti minimi (SI/NO)	NO	NO	NO	NO	NO	NO

La tabella sotto riportata (Tab. 6) rappresenta un aspetto molto importante, ovvero il ricambio d'aria, quindi la superfice d'ingresso d'aria e di conseguenza la superficie d'uscita d'aria dalla stalla, è di fondamentale importanza che i requisiti vengano rispettati così da non aver problemi conseguenti il mancato ricambio di aria. Oltre a questo, la tabella evidenzia l'ambiente a cui siamo di fronte, dove soprattutto si evidenzia il THI, ovvero si riferisce all'Indice di Temperatura e Umidità (*Temperature-Humidity Index* in inglese), è un indicatore utilizzato per valutare lo stress termico a cui sono sottoposti gli animali, in ambienti caldi e umidi. Il THI combina la temperatura dell'aria e l'umidità relativa per stimare il livello di disagio termico percepito dagli animali. Più alto è il THI, maggiore è lo stress da caldo. Lo stress da caldo può influire negativamente su salute, benessere, produttività (latte, carne, uova), fertilità e comportamento degli animali.

Tabella 6 Tabella che dimostra il ricambio d'aria ed ambiente presente nelle tre stalle.

	Azienda	Boscasso		Bagaggera		Colmetto	
	Stagione	Inverno	Estate	Inverno	estate	Inverno	Estate
Ricambio d'aria	volume stalla (m3)	648,72	648,72	1712	1712	3389,45	3389,45
	volume stalla per capo (m3/capo)	9,83	10.99	14,26	15,56	28,01	26,91
	Rispetto requisiti minimi (SI/NO)	SI	SI	SI	SI	SI	SI
	Rispetto requisiti ottimali (SI/NO)	NO	NO	SI	SI	SI	SI
	superficie ingresso aria (m2)	28,45	49,03	73,34	73,34	16,32	113,24
	superficie ingresso aria (m2/capo)	0,431	0,831	0,611	0,666	0,134	0,898
	Rispetto requisiti minimi (SI/NO)	SI	SI	SI	SI	NO	SI
	superficie uscita aria (m2)	4,4	4,4	4,5	4,5	32,4	32,4
	superficie uscita aria (m2/capo)	0,067	0,067	0,0375	0,0409	0,2677	0,2571

	Rispetto requisiti minimi (SI/NO)	SI	SI	SI	SI	SI	SI
	ventilazione (m3/h capo)	68	302	190	397	80	339
	Rispetto requisiti (SI/NO)	SI	NO	NO	NO	SI	NO
Ambiente	categoria animale	Solo capre adulte	Solo capre adulte	Solo capre adulte	Solo capre adulte	Solo capre adulte	Solo capre adulte
	Rispetto neutralità (SI/NO)	6 Caldo	9 Caldo	8 Freddo	16 Caldo	5 Caldo	26 Caldo
	Rispetto adattamento (SI/NO)	SI	SI	SI	SI	SI	SI
	Rispetto estremo (SI/NO)	OK	OK	OK	OK	OK	OK
	RH (%)	54,4	56,38	62,36	67	77,26	64,35
	Rispetto neutralità (SI/NO)	15 Secco	7 Secco	15 Secco	11 Secco	7 Umido 3 Secco	14 Secco
	THI	59	73	48	73	54,51	76,46
	nessun rischio	15	2	19	0	16	0
	possibile disagio	0	1	0	0	0	0
	lieve disagio	0	0	0	5	0	3
	Disagio	0	1	0	8	0	2
	Allerta	0	4	0	3	0	7
	Pericolo	0	1	0	0	0	4
	Emergenza	0	0	0	0	0	0

Soffermandosi sui valori della ventilazione (m^3/h capo), sono state dichiarate delle soglie minime e massime di ventilazione da rispettare, affinché il ricambio d'aria sia effettuato in maniera ottimale e dunque di conseguenza corretta. I range di valori di ventilazione sono i seguenti;

- Ventilazione minima periodo invernale; 25 m^3/h capo
- Ventilazione ottimale periodo invernale; 45 m^3/h capo
- Ventilazione minima periodo estivo; 45 m^3/h capo
- Ventilazione ottimale periodo estivo; 70 m^3/h capo

A questo punto, confrontando i valori presenti nella tabella (Tab. 6) si può enunciare che spesso i valori di ventilazione non rispettano i requisiti. Fatta eccezione delle aziende Boscasso e Colmetto, esclusivamente nel periodo

invernale, gli altri valori sono eccessivamente al di sopra della soglia ottimale di ventilazione, ciò significa che probabilmente non è stata effettuata una corretta apertura di finestre e portoni, che ha causato un eccesso di ventilazione.

3.2 Qualità dell'aria e valutazione della ventilazione nelle stalle

Dal grafico sottorappresentato (Fig. 16) si riesce a dare un valore alla CO_2 calcolata all'interno delle tre stalle soggette a studio, dividendole in un periodo freddo e in uno caldo. Il calcolo è basato su una media di valori presi durante il periodo invernale ed estivo. Internamente, in inverno, il Boscasso presenta un valore di 1029 CO_2 interna, quindi si può dedurre che in questo periodo la ventilazione è stata limitata. Il valore più basso invece è rappresentato durante il periodo estivo all'interno della stalla Bagaggera, con un valore di 568 CO_2. La differenza dei valori di CO_2 è influenzata dalla ventilazione, quando i valori sono bassi significa che la stalla rimane ben arieggiata, ovvero le aperture come portoni e finestre sono spalancate permettendo dunque l'ingresso e l'uscita dell'aria; viceversa, durante il periodo invernale i valori sono sempre più alti, sicuramente a causa delle gelide temperature che non permettono di tenere giorno e notte finestre e cancelli aperti.

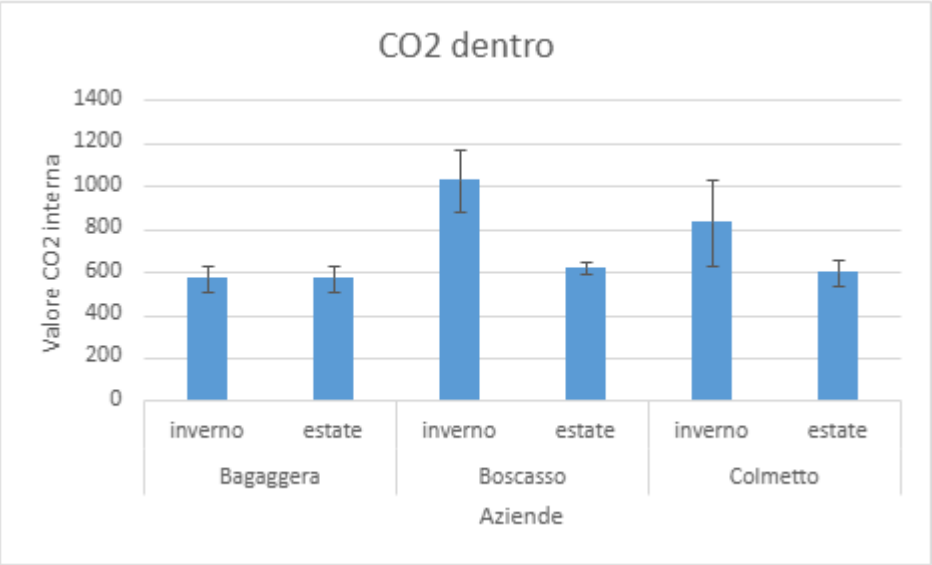

Figura 16 Grafico che rappresenta la CO_2 interna nelle tre aziende oggetto di studio.

Questi risultati sono in linea con quanto riportato da Celozzi et al., (in press) che evidenziano come nel confronto tra estate e inverno emergono differenze stagionali significative per l'NH_3 e la CO_2. I livelli di NH_3 e CO_2 sono superiori in inverno rispetto all'estate e più elevati di notte che di giorno a causa della maggiore chiusura della stalla che si verifica in inverno e di notte. Questo è ciò che si verifica al Boscasso, avendo aperture inferiori rispetto alla Bagaggera.

Anche l'età della lettiera ha un'influenza sulla qualità dell'aria. Sia in inverno che in estate Celozzi et al., (in press) hanno osservato concentrazioni di CO_2 e NH_3 più elevate in lettiere vecchie (60-90 giorni) rispetto alla stessa lettiera rinnovata da pochi giorni.

Dopo esser stata calcolata la CO_2 interna, è stata presa in considerazione l'ammoniaca interna NH_3, il grafico sottorappresentato (Fig. 17) mostra la quantità di ammoniaca presente nelle tre aziende oggetto di studio, dividendole sempre in due periodi, ovvero inverno ed estate. In questo caso Boscasso e Colmetto hanno raggiunto il picco durante il loro periodo invernale, rispettivamente con valore di 4,99 NH_3 interna (ppm) per l'azienda Boscasso e di 4,77 NH_3 interna (ppm) per l'azienda Colmetto. Durante il periodo estivo le tre

aziende sono rimaste in un range di valori piuttosto bassi, variando da 1,55 NH_3 interna (ppm) a 2,37 NH_3 interna (ppm). Si può dedurre quindi che durante il periodo estivo preso in considerazione, le tre aziende hanno avuto una limitata emissione di ammoniaca.

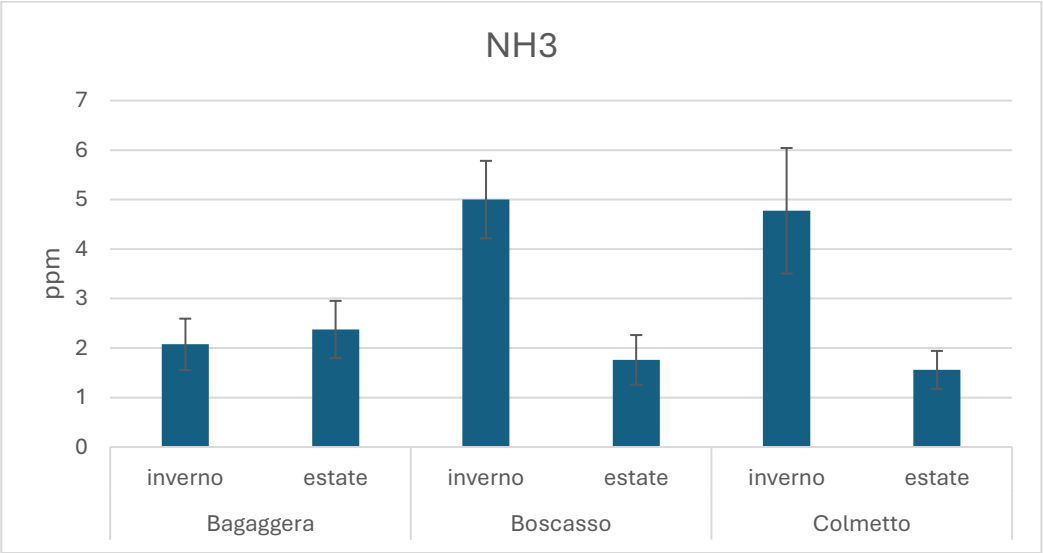

Figura 17 NH_3 (ppm) interna calcolata nelle tre aziende oggetto di studio, dividendo inverno ed estate.

Il grafico che segue (Fig. 18) pone sull'asse delle Y i m^3/capo h rapportati con le tre aziende oggetto di studio. I periodi sono sempre divisi in inverno ed estate, per avere un quadro più preciso della situazione. Si nota subito come il periodo estivo abbia un Qt maggiore in tutte e tre le aziende rispetto al periodo invernale. In estate l'azienda che presenta il Qt (m^3/capo h) maggiore è l'azienda Bagaggera con un valore di 396,68 m^3/capo h, mentre l'azienda che presenta il Qt (m^3/capo h) minore è Boscasso, con un valore di soli 68,12 m^3/capo h.

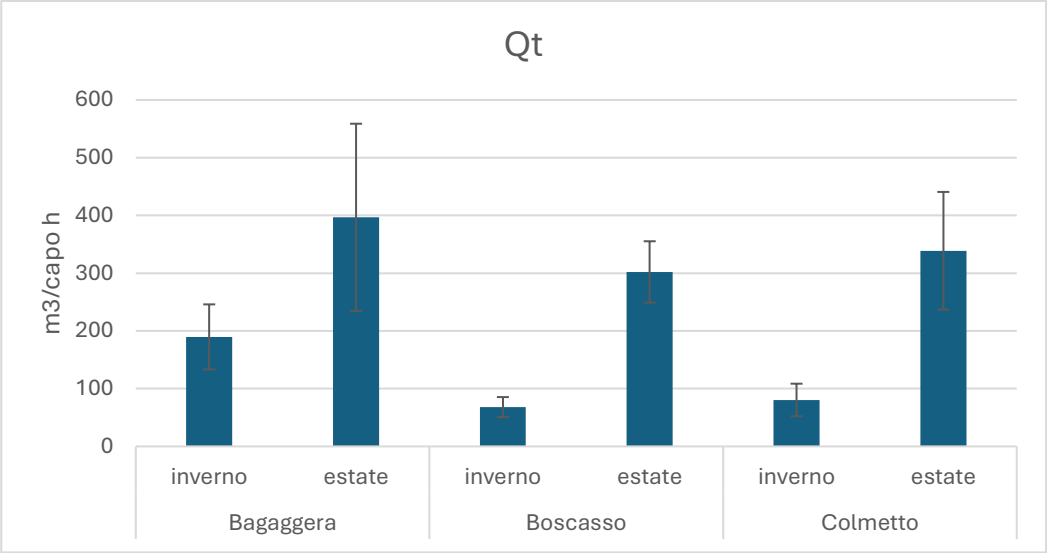

Figura 18 Qt (m^3/capo h) rapportato alle tre aziende oggetto di studio, dividendo inverno ed estate.

3.3 Valutazione delle emissioni stimate e fattori incidenti

Il grafico che viene successivamente rappresentato (Fig. 19) indica i valori di CO2 interna (ppm) valutati nelle aziende Bagaggera, Boscasso e Colmetto durante il periodo invernale ed estivo. I pallini blu indicano i valori raccolti durante il periodo invernale, viceversa quelli arancioni sono i valori raccolti durante il periodo estivo.

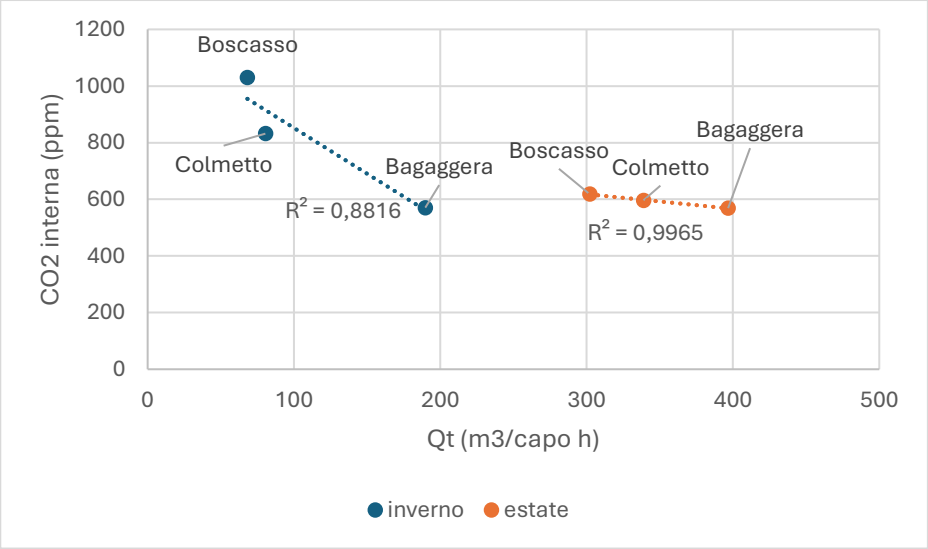

Figura 19 Dimostrazione della CO_2 interna (ppm) rapportata a Qt

Il grafico sottorappresentato (Fig. 20) indica i valori di NH_3 raccolti sia durante il periodo invernale sia in quello estivo nelle tre aziende, Bagaggera, Boscasso e Colmetto. I pallini blu che seguono la retta tratteggiata rappresentano le tre aziende durante il periodo invernale, Boscasso presenta il valore di NH_3 interna maggiore, ciò significa che in quel periodo le emissioni sono state parecchie, a differenza dell'azienda Bagaggera dove durante il periodo invernale è riuscita a mantenere un valore delle emissioni particolarmente ridotto. Viceversa, durante il periodo estivo, rappresentato nel grafico dalla retta tratteggiata e dai pallini arancioni, il valore più alto di NH_3 lo ottiene la Bagaggera con 2,37 ppm mentre il valore più basso di 1,55 ppm è rappresentato dal Colmetto.

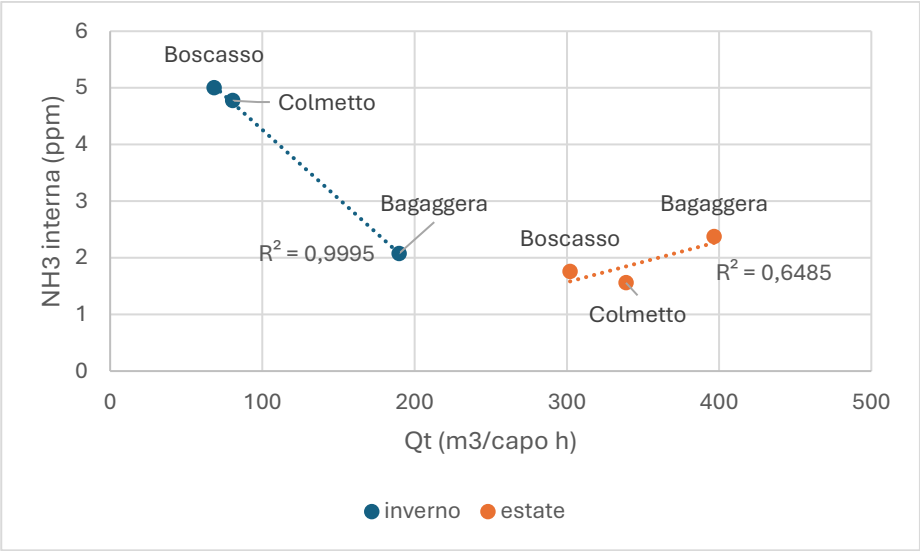

Figura 20 Dimostrazione dell' NH_3 interna (ppm) rapportata a Qt

Quest'ultimo grafico (Fig. 21) mette a confronto le emissioni di NH_3 mg/m$_2$h con QT (m^3/h). A primo impatto si nota subito come, durante il periodo estivo, l'azienda Bagaggera abbia raggiunto un valore estremo di 309 mg/m$_2$h mentre le altre due aziende sono rimaste in un valore medio compreso fra 142 mg/m$_2$h e 152 mg/m$_2$h. Durante il periodo invernale invece le tre aziende sono rimaste tutte in un range abbastanza ridotto, ovvero i valori sono compresi tra 92 mg/m$_2$h e 155 mg/m$_2$h rappresentato dall'azienda

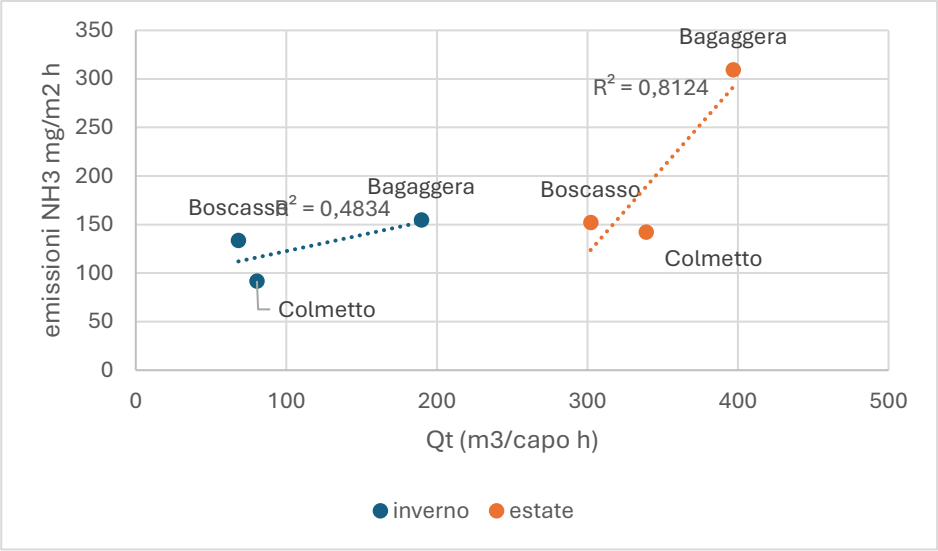

Figura 21 Dimostrazione delle emissioni di NH_3 mg/m$_2$h rapportate a Qt

3.4 Confronti con EMEP/EEA air pollutant emission inventory Guidebook 2023

Grazie all'utilizzo del manuale 3 B manure management, si riesce ad effettuare un confronto tra i valori di NH_3 (mg/m^2 h) rilevati nelle tre aziende ed i valori di riferimento stimati utilizzando il metodo riportato nel manuale 3 B manure management. Le medie calcolate sono riferite ad un valore medio annuo, e non tengono conto della stagionalità:

- Periodo invernale; Bagaggera 203,09 mg/m^{2}h Boscasso 181,38 mg/m^{2}h Colmetto 127.51 mg/m^{2}h
- Periodo estivo; Bagaggera 186,17 mg/m^{2}h Boscasso 162,14 mg/m^{2}h Colmetto 132,78 mg/m^{2}h

Grazie a questi confronti si riesce a dare una risposta sulle emissioni, ovvero si nota subito grazie ai grafici precedenti di come durante il periodo estivo l'azienda Bagaggera abbia superato il valore massimo indicato da 3 B manure management, mentre le altre aziende, in entrambi i periodi, siano rimaste al di sotto della soglia massima indicata. Una leggera eccezione viene fatta

dall'azienda Colmetto durante il periodo estivo, in quanto i valori di emissione sono leggermente superiori alla media indicata.

4 Conclusioni

Per cercare di dare una risposta all'obbiettivo iniziale prefissato, ovvero quello di stimare le emissioni di ammoniaca da stalle di capre, e i fattori che le influenzano è stato portato avanti questo progetto, che ha consentito di approfondire la problematica legata alle emissioni derivanti dall'ambiente caprino il quale raramente viene preso in considerazione. Si è evidenziato come le emissioni siano ben correlate con la stagione dell'anno, con l'estate che produce emissioni superiori all'inverno e che una buona ventilazione della stalla sebbene sia positiva per il benessere animale, è ben correlata con le emissioni. Di conseguenza è necessario per quanto possibile gestire correttamente l'alimentazione per ridurre le escrezioni azotate degli animali e mantenere pulita la lettiera. Non è assolutamente da sottovalutare il settore delle capre, solo perché hanno dimensioni nettamente inferiori di altri animali di allevamenti (bovini e suini) producono anch'esse abbondanti quantità di emissioni, e quindi tutti gli obbiettivi che mirano alla riduzione delle emissioni sono da seguire, sia se si tratta di un animale sia se si tratti di un altro. Diminuire le emissioni di ammoniaca NH_3 o di anidride carbonica CO_2 significa assicurarsi un miglior futuro sia a livello ambientale che a livello umano.

Bibliografia

Celozzi, S., Ambrosini, R., Rapetti, L., Mattiello, S., Finzi, A. IoT monitoring of indoor air quality in goat barns: the role of building characteristics and litter management. Animals (*in press*)

EEA. (2023). 3B. Manure management. In EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023. Technical guidance to prepare national emission inventories. European Environment Agency

Pedersen, S.; Sällvik, K. 2002. International commission of agricultural engineering, section II 4th report of working group climatization of animal houses heat and moisture production at animal and house levels. www.agrsci.dk/jbt/spe/CIGRreport.

VERA. (2018). Vera test protocol: For livestock housing and management systems.

Valitutti, G., Amadio, P., & Falasca, M. (2017). *Chimica: molecole in movimento*. Zanichelli.

Angelino, E., Collalto, A. G., & Marongiu, A. (2023). RASSEGNA ED ANALISI DELLE VARIABILI CHE INFLUENZANO LE EMISSIONI DI AMMONIACA DAL SETTORE ZOOTECNICO. *Ingegneria dell'Ambiente*, *10*(4).

Di Cristofaro, E. (2020). Focus sulle emissioni da agricoltura e allevamento.

Pistara Paolo (2008). Incontro con la chimica.

Carmine Rubino, Italo Venzaghi, Reanato Cozzi (2019). Le basi della chimica analitica.

Janke, D., Dilya, W., Hempel, S., Amon, B., R€omer, A., & Amon, T. (2020). High resolution long-term measurements af carbon dioxide and ammonia concentrations in a naturally ventilated dairy barn. PUBLISSO Repository for Life Sciences

Measuring and assessing the role of deep litter to estimate the ventilation rate using the CO2 mass balance metho Salvador Calvet a, Hendrik Jan C. van Dooren b, Nico W.M. Ogink b, Julio Mosquera

Ringraziamenti

Ringrazio il Professor Finzi Alberto che mi ha permesso di scrivere questa tesi, e ringrazio la sua generosa disponibilità nell'aiutarmi.

Grazie a mamma e papà, colonne portanti della mia vita che hanno continuato a sostenermi nonostante le continue cadute.

A mia sorella, ovvero la donna a cui voglio più bene e che è sempre dalla mia parte.

Ai miei nonni, che solo io so quanto sono fortunato ad averli.

Alla mia famiglia, cugini e zii che mi hanno aiutato in questo lungo percorso.

Alla mia fidanzata, un punto fermo dove trovare riparo in questi anni.

Ai miei amici di una vita e a quelli trovati qui, vi ringrazio di cuore per la vostra lealtà.

Infine un grazie a me, che nonostante tutto son riuscito a concludere questo percorso senza limitarmi nella vita esterna all'università.

"Il passato è passato, non tornerà mai più. Il presente è il miglior dono che abbiamo nella nostra vita. Non sai cosa succederà domani, quindi vivi il presente." (Cristiano Ronaldo).