Dottorato: *Sustainable Agricultural and Forestry Systems and Food security*

Titolo: Monitoraggio delle concentrazioni di ammoniaca e gas serra per valutare le emissioni derivanti dalla gestione del letame e dalle stalle a ventilazione naturale.

Supervisor: prof.ssa Stefania Pindozzi (AGR10) Costruzioni rurali e territorio agroforestale

Obiettivi del progetto di ricerca nel triennio e collaborazioni interdisciplinari:
La riduzione delle emissioni di gas serra e di NH_3 provenienti dagli allevamenti è fondamentale per l'ambiente e la salute pubblica. Pratiche di gestione efficaci, normative più severe e una maggiore consapevolezza possono contribuire a ridurre queste emissioni e gli impatti ad esse associati. La valutazione accurata delle emissioni è il primo passo per definire gli inventari nazionali delle emissioni e migliorare le tecniche di mitigazione.
Per calcolare il tasso di emissione dell'NH_3 da un edificio zootecnico, è necessario stabilire un bilancio di massa, in cui il tasso di ventilazione (VR) e la differenza tra le concentrazioni di NH_3 in ingresso e in uscita sono misure fondamentali (Calvet et al., 2013). Numerosi studi in letteratura hanno analizzato la ventilazione naturale negli edifici zootecnici per la produzione di latte utilizzando diversi metodi (diretti o indiretti) (Edouard et al., 2016, Janke et al., 2020; Joo et al., 2014; Kiwan et al., 2013). Nonostante la varietà di metodi disponibili, nessun metodo è emerso come riferimento indiscusso e universalmente accettato (König et al., 2018).
La misurazione diretta della VR prevede la misurazione della velocità del flusso d'aria che attraversa la stalla, distinguendo tra ingressi e uscite. Nel caso del metodo indiretto, la VR viene stimata dalla differenza di concentrazione tra l'ingresso e l'uscita dell'aria di un gas tracciante, ovvero la CO_2 prodotta dagli animali (Wang et al., 2016), rendendo il bilancio di massa della CO_2 un metodo economico.
Oltre alla difficoltà di misurare i tassi di ventilazione (Konig et al., 2018), esistono ancora sfide significative per misurare in modo affidabile e continuo le concentrazioni di gas (Janke et al., 2020). Tra gli strumenti principali, lo spettroscopio fotoacustico a infrarossi è una tecnologia ampiamente utilizzata per la misurazione continua delle concentrazioni di gas, ma il costo della strumentazione e della manutenzione ordinaria è troppo elevato (Wang et al., 2016). Per tale motivo, l'attività di ricerca che si propone, mira a studiare diversi metodi e strategie per ottenere dati sulle concentrazioni di gas nelle stalle da latte aperte e durante la gestione dei reflui in azienda per la valutazione delle emissioni in un clima mediterraneo. Gli obiettivi specifici sono: (i) studiare i fattori che influenzano la misura delle concentrazioni di gas e delle; (ii) confrontare diverse strategie di misurazione del tasso di ventilazione; (iii) valutare le concentrazioni di gas utilizzando diversi dispositivi di misurazione.
Il progetto si avvarrà della collaborazione di Ester Scotto di Perta (RTDA AGR10 DiA co-supervisione), Nunzio Fiorentino (PA - AGR/02 DiA per emissioni a seguito di manure management), (AGR18 -19 – DiA e DMVPA per aspetti di benessere animale in stalla), (CNR-ISAFOM per condivisione apparecchiature quali laser a raggio aperto per la misura delle emissioni dalla stalla), (ING-INF/01 e ING-INF/07 – DIETI per calibratura e rete di sensori IoT, approcci Machine learning e Digital Twins).

Elementi di innovazione e/o originalità del progetto rispetto allo stato dell'arte:

Importante elemento di innovatività del presente progetto di dottorato è da riferire al sistema di monitoraggio delle emissioni gassose (NH_3, CH_4, CO_2, H_2S, particolato atmosferico, umidità e temperatura). Si prevede l'implementazione ad hoc di una innovativa rete di sensori IoT a basso costo per il rilievo multi-temporale dei principali GHG negli allevamenti. Saranno inoltre sviluppati modelli evoluti basati su Machine Learning (ML) per il monitoraggio e la predizione dei gas emessi. Infine, tali misurazioni saranno accoppiate con quelle di tipo ambientale e creazione del Digital Twin. Il monitoraggio, inoltre, si caratterizza per un innovativo approccio multi-scala, oltre che multi-temporale. L'approccio multi-scala sarà ottenuto accoppiando il rilievo con sensori elettrochimici palmari portatili.

Disponibilità fondi:
PNRR Agritech – Spoke 5 Task 5.3.5 *Livestock housing, equipment and manure management for mitigation* (fine prevista Agosto 2025)

PRIN 2022 - *Livestock Manure Digestate Treatments to Reduce GHGs And NH3 Emissions And Meet Crop Nutrients Requirement (Limit DGGAS)* (fine prevista Ottobre 2025)

Accordo di collaborazione tra **Regione Campania Direzione Generale per le Politiche Agricole Alimentari e Forestali** e Dipartimento di Agraria per la realizzazione di uno *Sportello Regionale di informazione, formazione finalizzato alla riduzione dell'inquinamento da nitrati e da emissioni in atmosfera provenienti dagli allevamenti zootecnici (SporFASS).* Decreto Regione Campania n. 392 del 26/11/2021, (fine prevista Maggio 2025)

Collaborazioni con istituzioni straniere:

Prof Tomas Norton - M3-BIORES-Measure, Model and Manage Bioresponses, KU Leuven, Leuven, Belgium (Con il prof Tomas Norton è già in atto una collaborazione nata a seguito di un tirocinio Erasmus + con una studentessa del corso di laurea in Precision Livestock farming, dalla quale è nata la seguente pubblicazione a convegno internazionale: A. Apostolico, E. Scotto di Perta*, E. Cervelli, R. Grieco, A. Mautone, T. Norton & S. Pindozzi (2024) A comparison of two methods for the ventilation rate estimation of a naturally ventilated buffalo barn. In *Precision Livestock Farming 2024- 11th European Conference on Precision Livestock Farming, ECPLF 2024* – Bologna, Italy - September 2024)

Dr. Sasha D. Hafner, Senior Researcher, Department of Biological and Chemical Engineering, Environmental Engineering, WATEC Aarhus University, Centre for Water Technology, Finlandsgade (Collaborazione già attiva per la calibrazione del modello ALFAM2 per la previsione delle emissioni di ammoniaca e pubblicato: Hafner, S. D., Adani, F., Bittman, S., Burchill, W., Bussink, W., Carozzi, M.,…, S. Pindozzi, …, .E. Scotto di Perta,... & Zilio, M. (2023). The ALFAM2 dataset on ammonia loss from field-applied manure https://zenodo.org/records/8109634).

PhD: Sustainable Agricultural and Forestry Systems and Food Security

Title: Monitoring Ammonia and GHG concentrations to Evaluate Emissions from manure management and naturally ventilated Dairy Barns

Supervisor: prof. Stefania Pindozzi (AGR10)

Objectives of the research project and interdisciplinary collaborations:
Reducing GHG and NH_3 emissions from livestock is crucial for the environment and public health. Effective management practices, stricter regulations and increased awareness can help reduce these emissions and their associated impacts.
The accurate assessment of emissions is the first step in defining emission inventories and improving mitigation techniques.
To calculate an NH_3 emission rate from a livestock building, it is necessary to establish a mass balance, in which the ventilation rate (VR) and the difference between inlet and outlet NH_3 concentrations are key measurements (Calvet et al., 2013). Numerous research studies in the literature have investigated natural ventilation in dairy buildings using different methods (i.e. direct or indirect methods) to estimate VR (Edouard et al., 2016, Janke et al., 2020; Joo et al., 2014; Kiwan et al., 2013). Despite the variety of methods available, no method has emerged as an undisputed and universally accepted reference (König et al., 2018).
Direct measurement of VR involves measuring the velocity of the airflow passing through the barn, distinguishing between inlets and outlets. In the case of the indirect method, the VR is estimated from the difference in concentration between the air inlet and the air outlet of a tracer gas, namely the CO_2 produced by the animals (Wang et al., 2016), making the CO_2 mass balance a cheap method.
In addition to the difficulty of measuring ventilation rates (Konig et al., 2018), there are still significant challenges for reliable and continuous measurements of gas concentrations, including the representative measurement of inlets and outlets (Janke et al., 2020). Among the main instruments, the photoacoustic infrared spectroscope is a widely used technology for continuous measurement of gas concentrations, but the cost of the instrumentation and routine maintenance is too high (Wang et al., 2016). Based on this, the research activity aims to investigate different methods and strategies to obtain data on gas concentrations in open dairy barns and during manure management for emissions assessment under a Mediterranean climate. The specific objectives are: (i) studying the influence factors on the measurement of gas concentrations and emissions; (ii) comparing different measurement strategies of ventilation rate; (iii) evaluating gas concentrations using different measurement devices.

The project will benefit from the collaboration of Ester Scotto di Perta (RTDA AGR10 DiA co-supervisor), Nunzio Fiorentino (PA - AGR/02 DiA for emissions from manure management), (AGR18 -19 - DiA and DMVPA for animal welfare aspects in the barn), (CNR-ISAFOM for sharing equipment such as open beam lasers for measuring emissions from barns), (ING-INF/01 and ING-INF/07 - DIETI for sensor calibration and IoT sensor network, Machine learning and Digital Twins approaches).

Innovation and originality of the project in relation to the state of the art:
An important innovative element of this PhD project relates to the monitoring system of gaseous emissions, by means of the implementation of an innovative low-cost IoT

sensor network for the multi-temporal measurement of NH_3 and the main GHGs (CH_4, CO_2), H_2S, atmospheric particulate matter, humidity and temperature in livestock farms.
Furthermore, advanced Machine Learning (ML)-based models for monitoring and predicting emitted gases will be developed. Finally, these measurements will be coupled with environmental measurements and the Digital Twin will be created. Moreover, the monitoring will be characterised by an innovative multi-scale, as well as multi-temporal, approach. The multi-scale approach will be achieved by coupling the survey with portable electrochemical sensors.

Grant availability:
PNRR Agritech – Spoke 5 Task 5.3.5 *Livestock housing, equipment and manure management for mitigation* (deadline in August 2025)

PRIN 2022 - *Livestock Manure Digestate Treatments to Reduce GHGs And NH_3 Emissions And Meet Crop Nutrients Requirement (Limit DGGAS)* (deadline in October 2025)

Collaboration agreement between the **Campania Region Directorate General for Agricultural, Food and Forestry Policies** and the Department of Agriculture for the realisation of a *Regional Information and Training Desk aimed at reducing nitrate pollution and atmospheric emissions from livestock farms (SporFASS).* Campania Region decree n. 392 del 26/11/2021, (deadline in May 2025)

Collaborations with foreign institutions:

- Prof Tomas Norton - M3-BIORES-Measure, Model and Manage Bioresponses, KU Leuven, Leuven, Belgium (There is already an ongoing collaboration resulting from an Erasmus + internship with a student from the master degree course in Precision Livestock farming, which led to the following publication at an international conference: A. Apostolico, E. Scotto Perta*, E. Cervelli, R. Grieco, A. Mautone, T. Norton & S. Pindozzi. Apostolico, E. Scotto di Perta*, E. Cervelli, R. Grieco, A. Mautone, T. Norton & S. Pindozzi (2024) A comparison of two methods for the ventilation rate estimation of a naturally ventilated buffalo barn. In Precision Livestock Farming 2024- 11th European Conference on Precision Livestock Farming, ECPLF 2024 - Bologna, Italy - September 2024)

- Dr. Sasha D. Hafner, Senior Researcher, Department of Biological and Chemical Engineering, Environmental Engineering, WATEC Aarhus University, Centre for Water Technology, Finlandsgade (There is already an active collaboration on the calibration of the ALFAM2 model for the prediction of ammonia emissions, which is published as: Hafner, S. D., Adani, F., Bittman, S., Burchill, W., Bussink, W., Carozzi, M.,..., S. Pindozzi,..., .E. Scotto di Perta,... & Zilio, M. (2023). The ALFAM2 dataset on ammonia loss from field-applied manure https://zenodo.org/records/8109634).