

LIFE-MEGA

Smart computing system to monitor and abate the indoor concentrations of NH₃, CH₄ and PM in pig farms

Indice

1.	Il progetto ed I suoi partners	2
2.	Introduzione.....	4
2.1	Bibliografia	5
3.	Obiettivi del progetto.....	5
4.	Cosa è stato monitorato nel progetto?.....	7
5.	Azioni del progetto.....	7
6.	Descrizione delle tecnologie	8
6.1	Prototipo di scrubber acido ad umido	8
6.2	Sistema di filtraggio a secco.....	9
6.3	Unità di controllo microclimatico	9
7.	Descrizione delle tecnologie	10
8.	MATERIALI e METODI.....	11
8.1	Strumentazione utilizzata per il monitoraggio	12
8.2	Protocollo VERA	12
8.3	Analisi olfattometrica.....	13
8.4	Benessere animale - Welfare Quality® protocol.....	14
8.5	LCA e analisi socio-economica	15
9.	Risultati del progetto	16
9.1	Efficienze di rimozione dei due diversi sistemi di abbattimento	16
9.1.1	Risultati di NH ₃ e PM	16
9.1.2	Risultati sull'emissione di gas serra (GHG).....	16
9.1.3	Risultati dell'analisi olfattometrica	17
9.2	Risultati relativi al benessere degli animali.....	17
9.3	Valutazione del ciclo di vita (Life cycle assessment LCA) delle due soluzioni studiate per la riduzione di NH ₃ , gas serra, PM e COV.....	18
10.	Divulgazione.....	20
11.	Trasferimento e prospettive future	21
11.1	Bibliografia	22
12.	Progetto Life-MEGA.....	23



Smart computing system to monitor and abate the indoor concentrations of NH₃, CH₄, and PM in pig farms

Life-MEGA LIFE18 ENV/IT/000200



<https://lifemega.unimi.it/en/>

1. Il progetto ed i suoi partners

COORDINATORE



Università di Milano – Dipartimento di Scienze e politiche Ambientali
Via Festa del Perdono 7 | 20122 Milan (IT)
Phone: +39 02 5032
<https://eng.esp.unimi.it/ecm/home>

Il Dipartimento di Scienze e Politiche Ambientali (ESP) dell'Università degli Studi di Milano (UMIL) è il coordinatore del progetto Life-MEGA. Il gruppo di ricerca coinvolto è attivo nel campo dell'impatto ambientale delle attività agricole e zootecniche, compreso l'inquinamento di acqua, aria e suolo.

- Coordinamento amministrativo e tecnico del progetto.
- Monitoraggio e valutazione dell'efficienza di abbattimento dei sistemi di abbattimento testati in Italia.
- Validazione della centralina NUVAP per il controllo microclimatico.
- Valutazione dell'impatto socio-economico e ambientale.
- Contributo a documenti tecnici di riferimento e di *policy making*.
- Attività di divulgazione e networking.

PARTNERS



The LIFE-MEGA project has received funding from the LIFE Programme of the European Union
LIFE18 ENV/IT/000200



IRTA Torre Marimon 08140 Caldes de Montbui Barcelona

Phone: 93 467 40 40

<https://www.irta.cat/en/>

IRTA è un istituto di ricerca del Governo della Catalogna (Spagna), appartenente al *Department of Climate Action, Food and Rural Agenda*. I suoi obiettivi generali sono promuovere la ricerca e lo sviluppo tecnologico nell'area agroalimentare, facilitare il trasferimento dei progressi scientifici e valutare i propri progressi tecnologici, cercando il massimo coordinamento e collaborazione tra il settore pubblico e quello privato.

- Monitoraggio e valutazione dell'efficienza di abbattimento dei sistemi di abbattimento testati in Spagna.
- Monitoraggio e misurazione delle prestazioni e del benessere degli animali.
- Valutazione dell'impatto ambientale negli allevamenti spagnoli.
- Contributo a documenti tecnici di riferimento e *policy making*.
- Attività di divulgazione e networking.



Ufficio amministrativo: Via P. Giannone, 9 | 20154 Milano

Phone: (+39) 02 6203 2167

<https://www.nuvap.com/join-nuvap-partner-program/?lang=en>

Nuvap è il partner di tutte le organizzazioni che vogliono promuovere la salubrità e il confort all'interno degli edifici, attraverso la gestione della qualità ambientale.

- Progettazione, fornitura e installazione delle unità di controllo microclimatico.
- Fornitura di una piattaforma cloud accessibile e affidabile per il monitoraggio degli inquinanti indoor.
- Sviluppo di un'intelligenza artificiale da integrare con la centralina microclimatica per l'attivazione automatica dei sistemi di abbattimento delle emissioni.
- Supporto tecnico.





Uffici tecnici e amministrativi con unità produttiva
Via 1° Maggio,3 | 29017 FIOREZZUOLA D'ARDA (PC)
Tel. +39 0523 944 128
Via F.lli Bandiera,4 | 26010 CORTE DE' FRATI (CR)
Tel. +39 0372 93 119
<https://www.rotaguido.it/?!Site=en>

Rota Guido è presente nel mondo della zootecnia da oltre 50 anni. La sua esperienza e le sue tecnologie innovative sono sempre state finalizzate alla realizzazione di allevamenti moderni e razionali, con particolare attenzione al benessere animale. Progettazione di stalle, impianti e centri zootecnici per vacche e bufale e non solo. Rota Guido propone una vasta gamma di attrezzature per l'allevamento di tutti gli animali da reddito: suini, ovicaprini, avicoli e conigli.

- Progettazione, fornitura e installazione di scrubber acidi ad umido.
- Sviluppo del piano di mercato, replicabilità e trasferibilità delle soluzioni tecniche testate.
- Assistenza tecnica.

IL PROGETTO

Il progetto LIFE-MEGA è stato finanziato dall'Unione Europea nell'ambito del Programma Life 2018. Le azioni del progetto sono iniziate il 1° ottobre 2019 e si sono concluse il 30 settembre 2023. Il progetto LIFE-MEGA intende migliorare la qualità dell'aria all'interno dei ricoveri suinicoli attraverso l'implementazione di due diversi sistemi di abbattimento (filtro a secco e scrubber acido a umido).

Le unità di controllo microclimatico, collegate agli scrubber, hanno avuto lo scopo di monitorare e controllare in continuo la concentrazione interna di NH₃, CH₄, PM e VOC e sono state in grado di attivare automaticamente il funzionamento dei sistemi di abbattimento al superamento di limiti di soglia predefiniti.

La riduzione delle concentrazioni di NH₃ e PM all'interno delle porcilaie ha comportato un miglioramento della salute e del benessere animale.

2. Introduzione

Oltre alle varie attività civili, manifatturiere, industriali e di trasporto, anche l'allevamento intensivo contribuisce alle emissioni di inquinanti atmosferici. I suini sono la specie animale più allevata nell'Unione Europea (UE), con circa 150 milioni di capi. Italia e Spagna presentano le più alte densità di allevamenti di suini in Europa contribuendo attivamente al rilascio di ammoniaca, particolato, gas serra e odori nell'atmosfera. Questi inquinanti, oltre ad incidere sull'ambiente circostante, rappresentano un potenziale pericolo per la salute degli animali e degli operatori all'interno delle porcilaie. Le emissioni di gas serra inoltre alterano il bilancio energetico della Terra tra la radiazione solare in entrata e il calore rilasciato nello spazio, amplificando l'effetto serra e provocando cambiamenti climatici.

Gli odori, oltre ad essere responsabili del fastidio per i residenti nelle vicinanze, sono stati definiti inquinanti atmosferici nocivi in quanto possono causare irritazione delle vie aeree (Conti et al., 2020) e insorgenza di malattie respiratorie negli agricoltori e nei lavoratori agricoli (Maesano et al., 2019).



Infine, l' NH_3 provoca una serie di effetti negativi a cascata che: i) danneggiano la biodiversità dell'ecosistema a causa dell'acidificazione e dell'arricchimento di azoto ii) influiscono sulla salute e sulla produttività dei suini e iii) svolgono un ruolo significativo nella formazione di aerosol di particolato secondario ($\text{PM}_{2,5}$) e di protossido di azoto secondario (N_2O) (Figura 1). Per limitare queste emissioni si possono applicare molte strategie di mitigazione, come le strategie nutrizionali, l'uso di sistemi di trattamento del letame e l'applicazione di tecnologie di depurazione dell'aria, tutte riportate nel documento di riferimento sulle migliori tecniche disponibili (MTD) per l'allevamento intensivo di pollame o suini (Santonja et al., 2017).

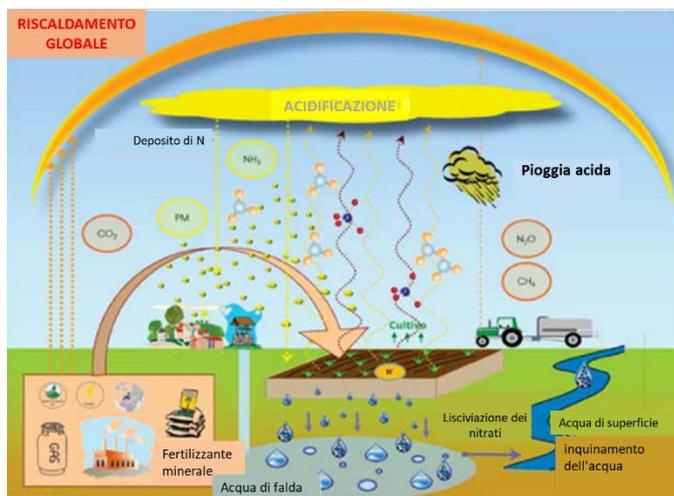


Figura 1. Effetto del riscaldamento globale

2.1 Bibliografia

Conti, C., Guarino, M., & Bacenetti, J. (2020). Measurements techniques and models to assess odour annoyance: A review. *Environment International*, 134, 105261.

Maesano, C. N., Caillaud, D., Youssouf, H., Banerjee, S., Prud'Homme, J., Audi, C., ... & Annesi-Maesano, I. (2019). Indoor exposure to particulate matter and volatile organic compounds in dwellings and workplaces and respiratory health in French farmers. *Multidisciplinary Respiratory Medicine*, 14(1), 1-12.

Santonja, G. G., Georgitzikis, K., Scalet, B. M., Montobbio, P., Roudier, S., & Sancho, L. D. (2017). Best available techniques (BAT) reference document for the intensive rearing of poultry or pigs. EUR 28674 EN, 11, 898.

3. Obiettivi del progetto

Il progetto Life-MEGA si propone di monitorare e migliorare, grazie all'applicazione di due tecnologie di trattamento dell'aria, la qualità dell'aria all'interno di quattro ricoveri suinicoli, due situati in Lombardia e due in Catalogna, aree ad alta vocazione suinicola. Il progetto Life-MEGA intende inoltre implementare nei quattro ricoveri suinicoli una centralina microclimatica in grado di monitorare in continuo i parametri ambientali come temperatura e umidità, oltre alla concentrazione di NH_3 , CH_4 , PM e COV con la possibilità di attivare i due diversi sistemi di trattamento dell'aria per il controllo degli inquinanti aerodispersi indoor.

Le due tecnologie testate sono state:

- i) un prototipo di scrubber acido ad umido, che lava e ricircola l'aria all'interno del ricovero, sviluppato dal partner Rota Guido;
 - ii) un filtro a secco commerciale già utilizzato in altri contesti industriali, come i panifici.
- Questi due sistemi sono stati installati rispettivamente in due allevamenti italiani nella fase dell'ingrasso e in due allevamenti spagnoli durante la fase di svezzamento.

In particolare, nella Figura 2 sono illustrati gli obiettivi del progetto.

Life-MEGA intende:

1. Sviluppare e valutare il prototipo di scrubber ad acido umido per migliorare la qualità dell'aria interna.
2. Dimostrare l'utilità del filtro a secco per la pulizia dell'aria all'interno dei ricoveri suinicoli.
3. Sviluppare una centralina di monitoraggio online in grado di attivare i sistemi di abbattimento così da mantenere la concentrazione di NH_3 e PM al di sotto di determinati valori soglia.
4. Valutare il benessere e le *performance* degli animali.
5. Valutare, utilizzando il Life Cycle Assessment (LCA), le prestazioni ambientali delle soluzioni proposte.
6. Valutare l'impatto socio-economico dei sistemi di abbattimento.
7. Trasferire i risultati al maggior numero di agricoltori e attori del settore suinicolo.
8. Contribuire all'attuazione del Codice di buone pratiche UNECE per la riduzione delle emissioni in agricoltura, promuovendo sistemi di stabulazione a basse emissioni.

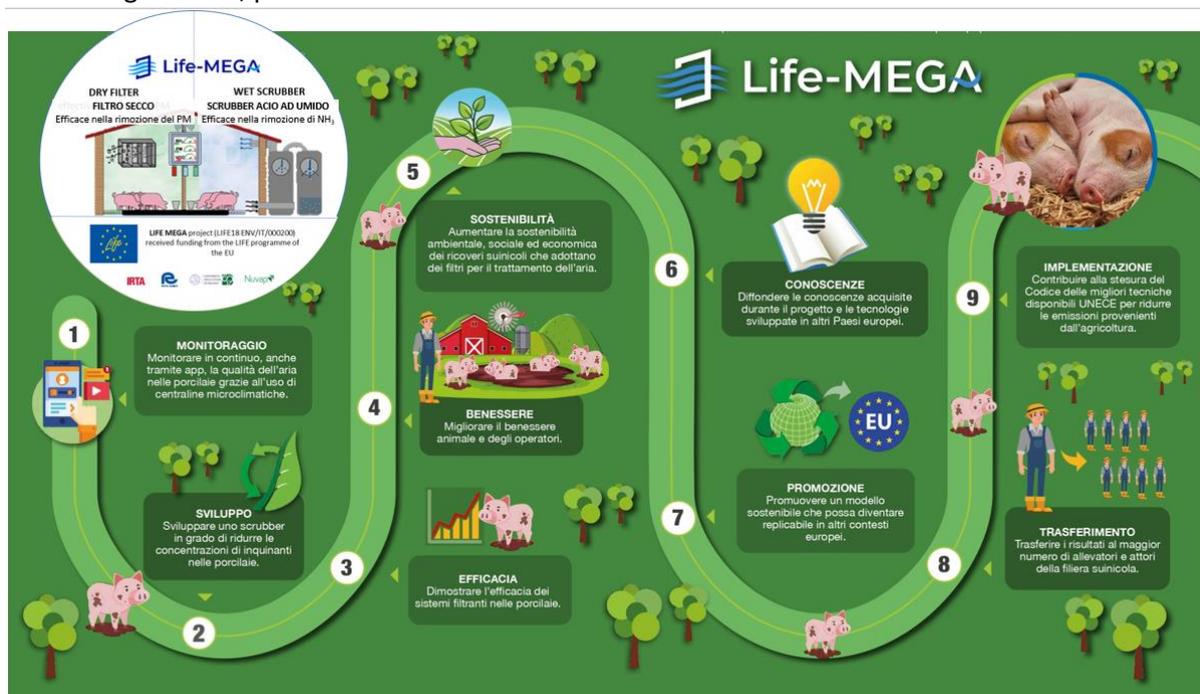


Figura 2. Gli obiettivi del progetto

4. Cosa è stato monitorato nel progetto?

L'obiettivo principale del progetto Life-MEGA è l'implementazione di un sistema innovativo per monitorare e abbattere le emissioni di NH₃, CH₄, PM e COV nei ricoveri suinicoli.

I benefici ambientali derivanti dell'utilizzo di sistemi di depurazione dell'aria (ad umido e a secco) sono stati valutati quantitativamente sulla base di metodologie valide e scientificamente testate.

Il Dipartimento di Scienze e Politiche Ambientali dell'Università degli Studi di Milano (coordinatore del progetto), in collaborazione con i partner del progetto quali Rota Guido Srl, Nuvap e l'Istituto di Ricerca e Tecnologia Agroalimentare (IRTA), ha sviluppato due diverse tecnologie di abbattimento delle emissioni che sono state testate insieme ad uno strumento microclimatico online. Le attività sono state implementate in quattro diverse aziende agricole situate in Lombardia, Italia, e in Catalogna, Spagna.

Durante il progetto sono stati sviluppati protocolli di validazione e monitoraggio per confrontare le tecniche di trattamento dell'aria con le pratiche agricole abituali. L'utilizzo di queste procedure di monitoraggio in tutte le aziende agricole coinvolte nel progetto ha permesso di ottenere dati comparabili e informazioni affidabili.

5. Azioni del progetto

Le attività del progetto sono state svolte in Italia ed in Spagna, aree ad alta densità di allevamenti suinicoli. L'impatto e gli effetti collaterali dell'allevamento intensivo di suini giocano un ruolo fondamentale per l'ambiente, la salute umana e l'economia.

L'uso di strategie di mitigazione, (sistemi di depurazione dell'aria) è fondamentale per ridurre le emissioni di gas nell'ambiente e, di conseguenza, per fornire benefici all'ambiente, agli animali e al benessere degli operatori.

Il progetto Life-MEGA ha testato due tecnologie di abbattimento (uno scrubber acido ad umido ed un filtro a secco) per il trattamento dell'aria all'interno degli allevamenti suinicoli, installati rispettivamente in due aziende italiane e spagnole. La concentrazione di inquinanti indoor è stata monitorata in tempo reale da una centralina microclimatica in grado di attivare automaticamente il funzionamento dei sistemi di abbattimento. In ogni allevamento, queste tecnologie sono state installate in tre ambienti diversi, come riportato nella Figura 3.

Il progetto Life-MEGA ha valutato l'efficienza di abbattimento dei sistemi di depurazione dell'aria utilizzando le centraline di monitoraggio convalidate. Come conseguenza del miglioramento della qualità dell'aria interna, ci si aspetta un aumento del benessere e dello stato di salute degli animali, aspetto che è stato valutato applicando il protocollo *Welfare Quality*.

Infine, sono stati considerati anche gli impatti ambientali e socio-economici dei sistemi di trattamento dell'aria. Per valutare le prestazioni ambientali delle soluzioni testate è stato utilizzato l'approccio LCA, mentre per gli aspetti socio-economici sono stati applicati l'S-LCA, il Net Present Value e il Pay-Back.

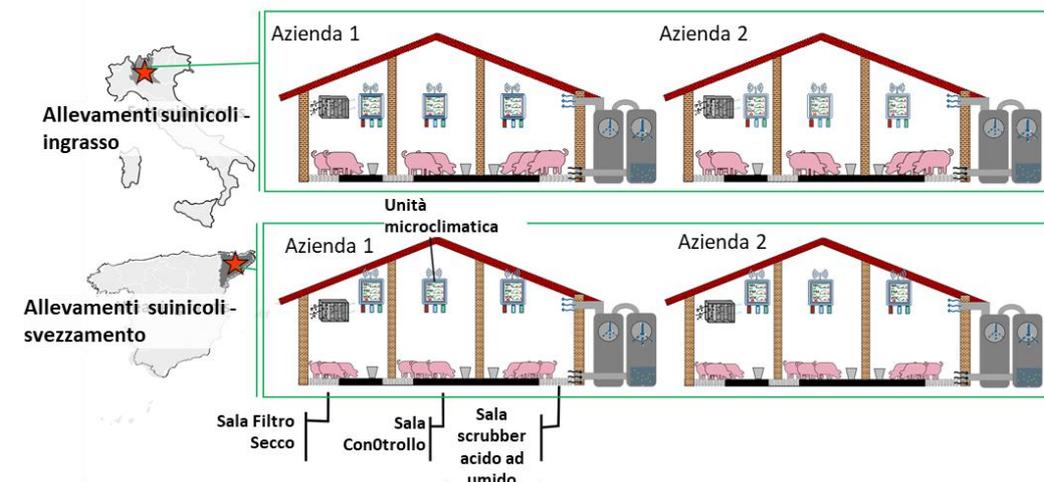


Figura 3. Schema degli impianti installati negli allevamenti suinicoli

6. Descrizione delle tecnologie

6.1 Prototipo di scrubber acido ad umido

I due prototipi di scrubber acido ad umido sono stati realizzati e successivamente installati da Rota Guido Srl in allevamenti suinicoli italiani e spagnoli. Il prototipo presenta due torri di trattamento dell'aria (una per l'abbattimento dell'ammoniaca e una per le polveri/odori), ciascuna con una capacità di 250 litri. La prima torre, collegata all'ingresso dell'aria, è stata riempita con acqua per catturare polveri e odori, mentre la seconda torre è stata riempita con una soluzione di acido citrico (15%) per catturare NH_3 . Il contatto tra l'aria ed i liquidi spruzzati consente agli inquinanti solubili di passare dalla fase gassosa a quella liquida. In questo modo, l'aria viene prelevata dalla porcilaia, viene lavata grazie al passaggio attraverso le due torri e viene infine reimpresso nel capannone (Figura 4).



Figura 4. Prototipo di scrubber acido ad umido

6.2 Sistema di filtraggio a secco

Il filtro a secco testato è un prodotto commerciale fornito dalla società Tecnosida Srl. Il sistema è costituito da filtri a cella o a sacco e da filtri a cartuccia che, grazie alla loro robustezza, alle basse cadute di pressione, all'elevata efficienza e al basso costo, si prestano ad essere utilizzati in qualsiasi contesto di filtrazione dell'aria. Il principio di funzionamento del filtro a secco si basa sull'interposizione di pannelli filtranti in serie con diverse capacità di ritenzione. Questa disposizione, oltre a garantire una notevole capacità di separazione, permette ai filtri di trattenere grandi quantità di polvere. L'aria viene poi reimpressa nella stalla da una soffiante (Figura 5).



Figura 5. Sistema di filtraggio a secco installato nell'allevamento italiano di suini

6.3 Unità di controllo microclimatico

La qualità dell'aria interna ai ricoveri è stata costantemente monitorata da un'unità di controllo microclimatico sviluppata dal partner Nuvap. Per resistere ad ambienti difficili, come le porcilaie, gli strumenti Nuvap sono stati sottoposti ad un processo di impermeabilizzazione, sono stati incapsulati in custodie stagne e sono stati dotati di particolari sensori in grado di resistere ai suddetti vincoli ambientali.

Lo strumento Nuvap è stato progettato con due blocchi hardware principali (Figura 6):

1. Un'unità di controllo microclimatico (indicata come dispositivo principale), che incorpora i sensori di qualità dell'aria e gli elementi di comunicazione (connettività remota mobile 2G/4G, BLTE per la connettività locale);
2. Un attuatore remoto composto da un elemento di comunicazione (BLTE) e da un elemento di attuazione (*relè*), utilizzato per attivare il funzionamento delle tecnologie di trattamento dell'aria.

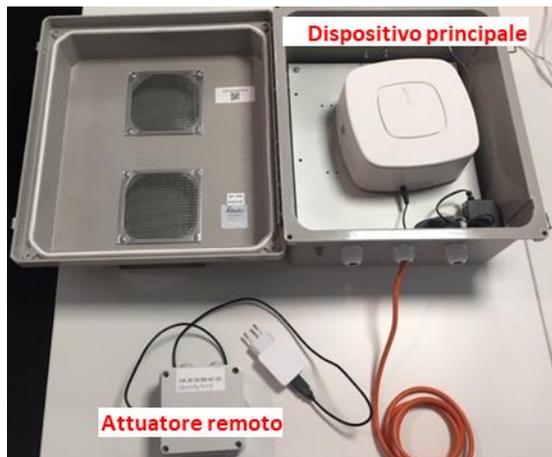


Figura 6. Schema dei blocchi hardware dello strumento Nuvap

Ogni centralina è dotata di diversi sensori, uno per ogni parametro monitorato (ad esempio, NH₃, PM, T, RH, ecc.). L'unità registra continuamente in tempo reale le concentrazioni di inquinanti nell'aria e i parametri ambientali microclimatici. Ogni 15 minuti circa i dati aggregati per ogni parametro vengono trasmessi alla piattaforma Cloud, dove i dati sono facilmente e tempestivamente accessibili per il controllo remoto del funzionamento e per scopi di elaborazione e analisi.

Per gestire l'azionamento remoto delle tecnologie di abbattimento è stato implementato un nuovo firmware. A seconda delle concentrazioni di NH₃ e PM rilevate dall'unità di controllo microclimatico, viene inviato un segnale di apertura o chiusura del contatto sull'attuatore remoto. In particolare, i sistemi di trattamento dell'aria sono stati attivati quando i sensori di NH₃ e/o PM rilevano tre misurazioni continue che superano i valori soglia predefiniti, pari a 10 ppm e 0,3 mg/m³ per NH₃ e PM, rispettivamente.

7. Descrizione delle tecnologie

Le attività sono state svolte in 4 allevamenti di suini, 2 situati in Lombardia (ingrasso) e 2 in Catalogna (svezzamento), con caratteristiche tipiche del contesto italiano e spagnolo, per consentire una pronta diffusione dei risultati nel settore.

Il primo allevamento italiano si trova a Tavazzano con Villavesco (LO), mentre il secondo a Corteolona e Genzone (PV). I due Allevamenti hanno una produzione annua di 10.000 e 13.000 suini da ingrasso (170 kg di peso vivo), rispettivamente. I capannoni dei due allevamenti sono dotati di un sistema a ventilazione naturale e differenti sistemi di stabulazione, alimentazione e allontanamento del liquame.

Nel primo allevamento suinicolo gli animali sono stabulati in box con pavimentazione piena e dotati di uno spazio esterno con pavimentazione fessurata. L'allontanamento del liquame avviene con un sistema di lavaggio (*flushing system*) e gli animali sono alimentati due volte al giorno con broda. La sperimentazione è stata condotta all'interno di due capannoni in tre distinte sale con una capacità di circa 550 suini ciascuna.

Gli animali della seconda azienda invece sono stabulati in box con pavimento completamente fessurato al di sotto del quale è presente una fossa per la raccolta del liquame. I suini vengono alimentati due volte al giorno con broda. La sperimentazione è stata Condotta all'interno di un capannone suddiviso in tre sale con una capacità di circa 430 suini ciascuna.

Il primo allevamento in Catalogna è un allevamento di svezzamento con una capacità totale di 9.600 suinetti, 400 per stanza, situato a Sant Eulàlia (Osona). Il secondo allevamento si trova invece a Oristà (Osona) e la sua capacità è di 2.500 scrofe e 7.800 suinetti, 200 suinetti per stanza. Le due aziende hanno almeno 3 capannoni identici con ventilazione forzata (due ventilatori ciascuna). La velocità dei ventilatori è regolata in base alla temperatura e all'umidità all'interno dei capannoni.



8. MATERIALI e METODI

Per ogni azienda - una situata in Italia ed una in Spagna - sono stati monitorati simultaneamente, tramite gli strumenti NUVAP, tre sale con le medesime caratteristiche (ad esempio, numero e categoria di animali, gestione, ecc.): una sala di controllo, una sala dotata di un sistema di filtraggio a secco e una sala dotata di un prototipo di scrubber acido ad umido. I dati raccolti dagli strumenti NUVAP sono stati poi confrontati con quelli registrati attraverso strumenti aggiuntivi (ad esempio Haz Dust EPAM 5000, Dräger X-AM 5000) durante le campagne di monitoraggio e secondo i protocolli definiti.

In Spagna, invece, l'ammoniaca e l'umidità relativa sono state misurate con un sensore Reiken Keiki GX-6000 e un igrometro TESTO 440, rispettivamente.

Le misure delle emissioni all'esterno delle porcilaie sono state eseguite in triplo in corrispondenza delle uscite d'aria (ventilatori). Il flusso d'aria è stato misurato con un TS AirFlow, modello TA410.

Sono stati misurati anche il livello di riempimento dello scrubber acido ad umido e il pH delle soluzioni di ciascuna torre, nonché il consumo energetico. Sono stati prelevati campioni di liquido da ogni torre per analizzare il contenuto di ammoniaca in laboratorio.

Misurazioni dei gas serra: In Spagna, il campionamento delle emissioni è stato effettuato settimanalmente per tutto il periodo dello svezzamento (6 lotti di suinetti in ogni allevamento). I campioni di gas sono stati prelevati all'interno delle stanze e l'analisi di CH₄, CO₂ e N₂O è stata eseguita in laboratorio con un gas-cromatografo GC (Agilent 7820° con rilevatore FID ed ECD).

8.1 Strumentazione utilizzata per il monitoraggio

Negli allevamenti italiani, le concentrazioni di PM e NH₃ nelle tre sale (prototipo scrubber acido ad umido, sistema filtrante a secco e controllo) sono state misurate rispettivamente con gli strumenti Haz Dust EPAM 5000 e Draeger X-am 5000.

Haz Dust EPAM 5000 combina la tecnica gravimetrica tradizionale con il "*near-forward light scattering*" in un dispositivo portatile, compatto e leggero.

Draeger X-am 5000 invece è uno strumento portatile per il rilevamento di gas per il monitoraggio continuo della concentrazione di diversi gas nell'aria ambiente all'interno dell'area di lavoro e nelle aree a rischio di esplosione. Il sensore NH₃ ha un campo di misura che va da 0 a 300 ppm.

Negli allevamenti suinicoli spagnoli è stato invece utilizzato un sensore Reiken Keiki GX-6000 per misurare l'NH₃ nelle tre diverse sale. Il particolato PM_{2.5} e PM₁₀ è stato campionato utilizzando SKC UNIVERSAL 224 – PCMTX8 bombs e BGI cyclones con filtri in fibra di vetro, con un tempo di aspirazione di 1 ora. Il PM_{2.5} è stato misurato con un BGI4L cyclone, con un flusso di 2.2 L/min, mentre il PM₁₀ è stato misurato con un GK2.69, con un flusso di 1.6 L/min.

I dati raccolti sono stati utilizzati per:

- Validare le centraline microclimatiche NUVAP confrontando i dati ottenuti in campo con quelli registrati dal NUVAP.
- Valutare le prestazioni del filtro a secco e dello scrubber acido ad umido.

8.2 Protocollo VERA

Il protocollo VERA è stato utilizzato per testare l'efficienza di rimozione dell'NH₃ dello scrubber acido ad umido. Nel protocollo VERA, l'efficacia di abbattimento è stata stimata utilizzando il sistema di trappole acide. Le trappole consistono in due contenitori Dreschel contenenti ciascuna 300 ml di soluzione di acido borico all'1%, in grado di catturare l'ammoniaca. I tubi di ingresso e di uscita dello scrubber acido umido sono stati collegati a due diverse trappole acide (Figura 7). Le quantità di ammoniaca fissata dalla soluzione di acido borico sono state poi titolate con acido solforico e, infine, confrontate per valutare l'efficienza di rimozione dell'NH₃.

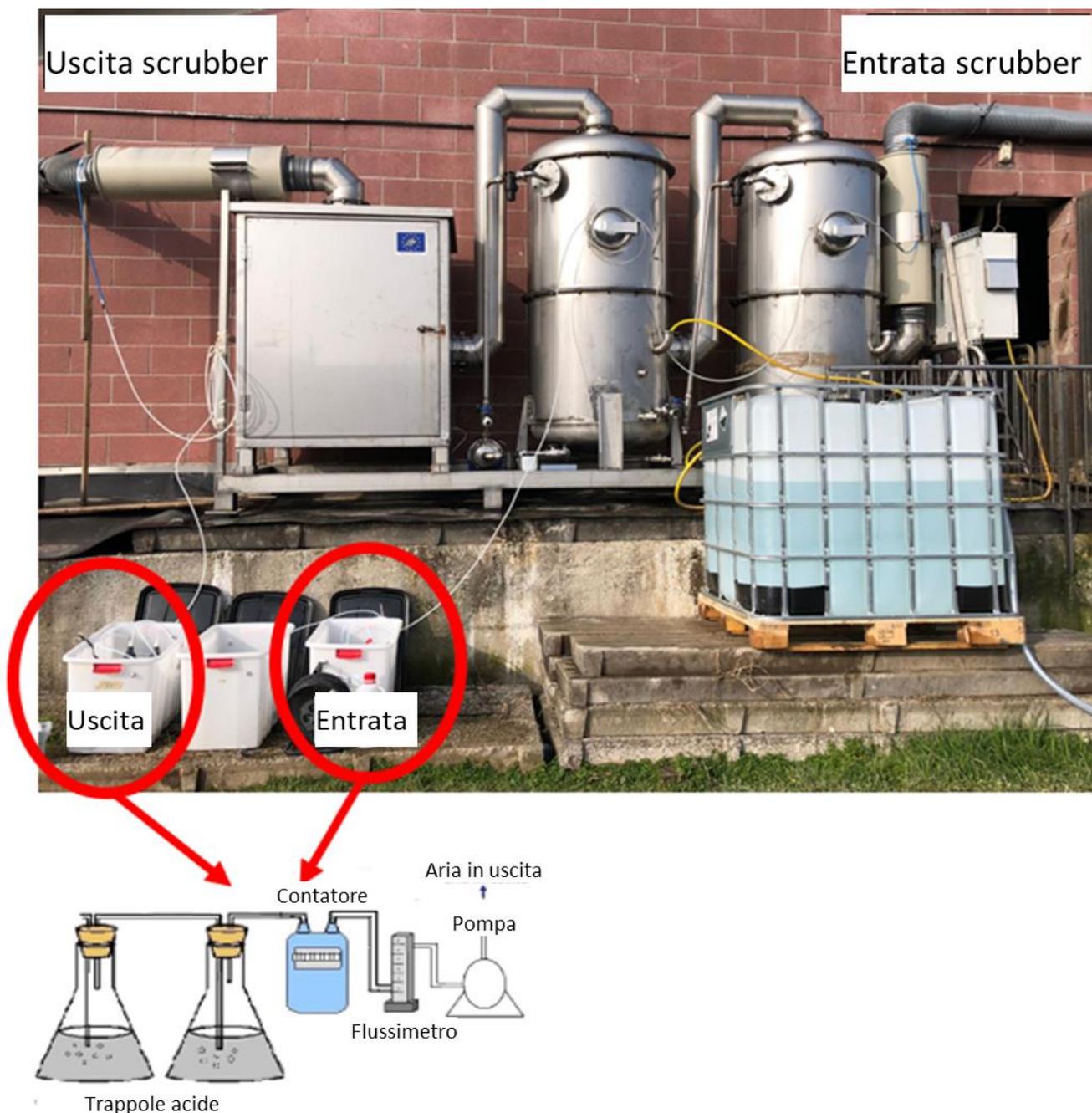


Figura 7. Il sistema di trappole per acide collegato allo scrubber acido ad umido

8.3 Analisi olfattometrica

Gli odori sono stati monitorati attraverso misurazioni olfattometriche secondo la norma EN 13725. Sono stati raccolti campioni d'aria all'ingresso e all'uscita dello scrubber acido ad umido. Le concentrazioni medie di odore trovate sono state poi confrontate per determinare l'efficienza di abbattimento degli odori del sistema ad umido. Per quanto riguarda il filtro a secco, poiché non è stato possibile raccogliere campioni d'aria all'ingresso e all'uscita, la concentrazione media di odore misurata durante l'analisi olfattometrica è stata confrontata con quella ottenuta nella sala controllo. Infine, per confrontare i risultati tra le tre sale, i campioni d'aria raccolti all'uscita dello scrubber acido ad umido sono stati confrontati con le concentrazioni medie di odore valutate nelle altre due sale.

8.4 Benessere animale - Welfare Quality® protocol

L'effetto dei due sistemi di depurazione dell'aria (ad umido e a secco) sul benessere degli animali è stato valutato utilizzando un adattamento del protocollo del *Welfare Quality*®. Infatti, in condizioni di produzione intensiva di suini, fattori ambientali come la qualità dell'aria hanno un effetto diretto sul benessere degli animali. Il benessere è stato valutato attraverso l'osservazione di indicatori specifici basati principalmente su osservazioni comportamentali e parametri patologici, riportati schematicamente nella Figura 8 (allevamento da ingrasso) e nella Figura 9 (allevamento da svezzamento). Sono stati inoltre raccolti campioni di saliva per valutare i livelli di cortisolo come indicatore di stress. I dati sono stati raccolti in ogni stanza 2-3 giorni dopo l'arrivo dei suini nella stalla di ingrasso, a metà ciclo e 2-3 giorni prima di andare al macello.



Figura 8. Schema dei dati raccolti durante le valutazioni del benessere animale negli allevamenti da ingrasso italiani.

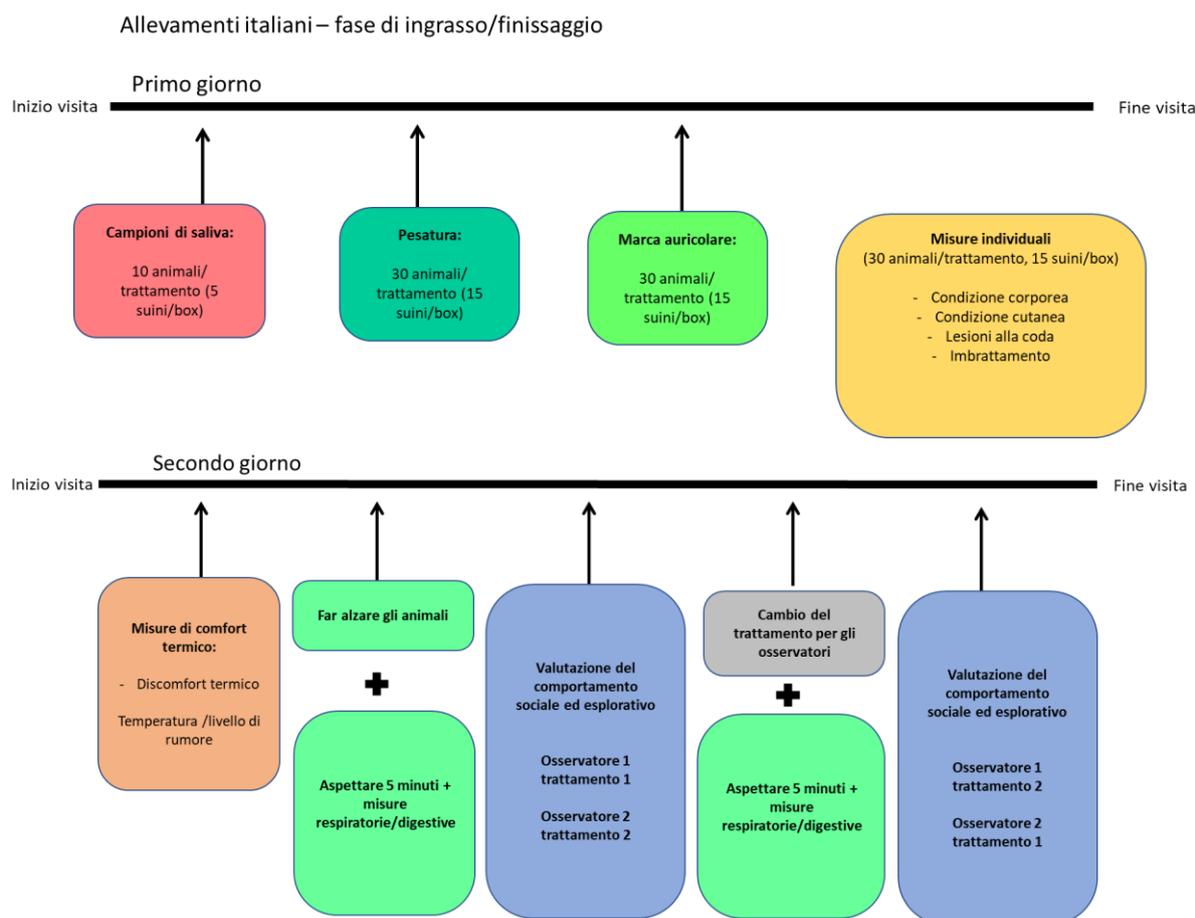


Figura 9. Schema di raccolta dei dati durante le valutazioni del benessere animale negli allevamenti di svezzamento spagnoli

8.5 LCA e analisi socio-economica

Lo studio LCA è stato eseguito per confrontare uno scenario base (l'attuale sistema di produzione di suini) con uno scenario alternativo (produzione di suini che prevede l'introduzione di tecnologie di depurazione dell'aria). La differenza tra lo scenario di riferimento e quello alternativo è quindi dovuta all'adozione, in quest'ultimo, di diversi metodi di trattamento dell'aria nelle strutture di stabulazione dei suini.

La valutazione ambientale è stata completata da uno studio dettagliato di fattibilità economica. Infine, uno studio sociale ha preso in considerazione ed esaminato, tramite questionari, la percezione degli allevatori dei principali vincoli e benefici nell'uso di questi due sistemi di abbattimento durante la normale gestione dell'allevamento.

9. Risultati del progetto

9.1 Efficienze di rimozione dei due diversi sistemi di abbattimento

9.1.1 Risultati di NH₃ e PM

In Italia, considerando tutti i cicli di ingrasso monitorati, la massima efficienza di rimozione dell'NH₃ ottenuta utilizzando lo scrubber acido ad umido è stata >90%. Applicando il sistema di filtraggio a secco, l'efficienza massima di abbattimento dell'NH₃ è stata del 22%. Per quanto riguarda il PM₁₀, lo scrubber acido a umido è stato in grado di abbattere il 49%, mentre il filtro a secco il 51%. I risultati sono riportati nella Tabella 1.

Tabella1. Efficienza di abbattimento % utilizzando i due sistemi di abbattimento dell'aria

Efficienza di abbattimento %	Scrubber acido ad umido		Filtro a secco	
	NH ₃	PM ₁₀	NH ₃	PM ₁₀
Massima	>90	49	22	51
Media	61	45	21	44

In Spagna, il lotto di suinetti che ha ottenuto i risultati migliori ha presentato un'efficienza di rimozione dell'NH₃ pari al 79% con lo scrubber acido ad umido e del 48% con il filtro a secco. Anche la riduzione del PM₁₀ è stata notevole, vedi Tabella 2. Nonostante altri lotti abbiano presentato efficienze di rimozione molto più basse, la media di N recuperato nel serbatoio acido era compresa tra 32 e 52 g N/d.

Tabella 2. Efficienza di rimozione (%) di NH₃ e PM₁₀ utilizzando i due sistemi di abbattimento dell'aria

Efficienza di abbattimento %	Scrubber acido ad umido		Filtro a secco	
	NH ₃	PM ₁₀	NH ₃	PM ₁₀
Massima	79	100	48	100
Minima	23	77	28	67
Media	49	92	37	89

9.1.2 Risultati sull'emissione di gas serra (GHG)

In Spagna, l'efficienza di rimozione dello scrubber acido ad umido per le emissioni di anidride carbonica (CO₂) e protossido d'azoto (N₂O) ha presentato piccole percentuali, 5% e 13%, rispettivamente, mentre per il metano (CH₄) non è stato osservato alcun abbattimento. Al contrario, il filtro a secco ha ottenuto risultati migliori con efficienze medie di rimozione del 28%, 42% e 27%, rispettivamente per anidride carbonica, metano e protossido d'azoto (CO₂, CH₄ e N₂O). I risultati sono riportati nella Tabella 3.

Tabella 3. Efficienza di abbattimento (%) di CH₄, CO₂ e N₂O utilizzando i due sistemi di abbattimento dell'aria.

Efficienza di abbattimento %	Scrubber acido ad umido			Filtro a secco		
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Massima	13	-	23	48	62	33
Minima	9	-	2	10	15	17
Media	5	-	13	28	42	27

9.1.3 Risultati dell'analisi olfattometrica

Nella Tabella 4 sono riportate le concentrazioni medie di odore (ouE m⁻³), misurate mediante analisi olfattometrica nelle sale con filtro a secco, scrubber acido ad umido e controllo.

Tabella 4. Concentrazione media di odore in ouE m⁻³

	Filtro secco	Controllo	IN scrubber acido ad umido	OUT scrubber acido ad umido
Concentrazione media ouE m ⁻³	3417	5047	3851	2585

In generale, la sala con il filtro a secco ha registrato i valori più bassi rispetto alla sala controllo. Rispetto allo scrubber acido ad umido (OUT), la sala con filtro a secco ha mostrato concentrazioni di odore più elevate. In Italia, considerando tutti i cicli di ingrasso monitorati, la massima efficienza di rimozione degli odori ottenuta utilizzando lo scrubber acido a umido è stata del 90%, mentre applicando il sistema di filtraggio a secco è stata dell'80%. Nella Tabella 5 sono riportate le efficienze di abbattimento massime e medie ottenute utilizzando i due sistemi di trattamento dell'aria.

Tabella 5. Efficienze di abbattimento degli odori

Efficienza di abbattimento %	Scrubber acido ad umido	Filtro a secco
Massima	90	80
Media	36	34.5

9.2 Risultati relativi al benessere degli animali

Nel complesso, per quanto riguarda la valutazione sul benessere degli animali, sono state osservate solo lievi differenze tra i tre ambienti monitorati (sala filtro a secco, sala con scrubber acido ad umido e sala controllo). In generale, i suini hanno risposto quasi sempre bene a tutti gli indicatori del protocollo di benessere che è stato seguito, pertanto non è stato possibile registrare molte differenze tra le due sale trattate e la sala controllo. Solo per i parametri respiratori e le osservazioni comportamentali sono state riscontrate lievi differenze tra le tre sale. In particolare, tra i parametri respiratori, la tosse è risultata essere leggermente migliore nelle due sale dove erano stati installati i due sistemi di trattamento dell'aria, anche se non è stato possibile evidenziare differenze significative. Per quanto riguarda le osservazioni comportamentali, sono state osservate più interazioni positive nelle due sale dotate dei sistemi di trattamento dell'aria, anche se la stessa differenza non è stata osservata durante le osservazioni focali. Ciò potrebbe essere dovuto alla migliore qualità dell'aria

nel box che aumenta le interazioni positive dei suini, migliorando leggermente il loro stato di benessere. I livelli di cortisolo sono aumentati nel tempo nella sala controllo, mentre nella sala con filtro a secco non c'è stato alcun aumento, indicando livelli di stress simili nei primi e negli ultimi campioni. Anche per il trattamento dell'aria con lo scrubber acido ad umido, l'aumento nel tempo è stato inferiore rispetto al gruppo controllo.

In base all'osservazione e all'opinione dell'allevatore, è stata osservata una maggiore uniformità nei suini presenti nella sala con scrubber acido ad umido e nella sala con filtro a secco. Questo aspetto ha colpito positivamente l'allevatore, poiché una maggiore uniformità implica maggiori guadagni al macello, in quanto vengono scartati meno animali (quelli che non raggiungono i 160 kg).

In Spagna sono stati riscontrati risultati simili a quelli riportati nell'allevamento da ingrasso in Italia. Tra i due sistemi di trattamento dell'aria, il filtro a secco è stato quello che ha avuto un maggior effetto sui parametri di benessere.

In sostanza, il filtro a secco ha avuto un effetto positivo sulla riduzione dell'imbrattamento del corpo dell'animale, delle lesioni alle orecchie e dei comportamenti sociali negativi come le aggressioni nel tempo. Al contrario, non è stato riscontrato alcun effetto sugli animali presenti nelle due sale (scrubber acido ad umido e filtro a secco) per quanto riguarda le lesioni alla coda, che al momento è un indicatore *iceberg* per il benessere.

Per questo motivo, l'effetto positivo del filtro a secco nel ridurre le lesioni alle orecchie diventa più rilevante, dal momento che l'incidenza delle lesioni alle orecchie nei suini con la coda tagliata è risultata più elevata rispetto ai suini con coda. Per il filtro acido ad umido, questi effetti positivi non sono stati significativi, anche se è stata riscontrata una tendenza alla riduzione del livello di cortisolo in uno dei lotti. Per gli altri indicatori valutati, come il peso corporeo e l'incremento medio, l'effetto del lotto è stato più pronunciato rispetto a quello dei suini nelle sale dotate di trattamento dell'aria (questo perché la variabilità dei pesi iniziali degli animali ha probabilmente mascherato l'effetto del trattamento).

In conclusione, le due tipologie di trattamento dell'aria, soprattutto il filtro a secco, hanno presentato un impatto positivo su alcuni indicatori di benessere (imbrattamento del corpo, lesioni alle orecchie e comportamento sociale). Tuttavia, gli impatti su altri indicatori, come quelli più legati alle prestazioni, non sono stati significativi, probabilmente a causa dell'elevata variabilità dei diversi lotti valutati. Sarebbero necessari ulteriori studi per acquisire ulteriori conoscenze.

9.3 Valutazione del ciclo di vita (Life cycle assessment LCA) delle due soluzioni studiate per la riduzione di NH₃, gas serra, PM e COV

I dati raccolti durante il progetto sono stati utilizzati per effettuare l'analisi del ciclo di vita (LCA) di queste due tecnologie di abbattimento (scrubber acido ad umido e filtro secco) per valutare il loro impatto ambientale. I risultati dello studio LCA hanno mostrato che entrambe le tecnologie, nella fase di stabulazione, possono ridurre le emissioni di inquinanti responsabili di alcune categorie di impatto, come la formazione di particolato, l'acidificazione e l'eutrofizzazione. Allo stesso tempo, sono però stati osservati diversi trade-off tra le categorie interessate dalla riduzione delle emissioni sopracitate e quelle invece più legate all'uso di energia e risorse. Infatti, entrambi i sistemi di trattamento dell'aria necessitano di materiali di consumo per il loro funzionamento, che comportano quindi un impatto aggiuntivo sul sistema rispetto allo scenario di base. Considerando il bilancio tra le emissioni evitate ed i trade-off generati, il filtro a secco è risultato essere la soluzione migliore tra le due.

Nel dettaglio, negli allevamenti italiani, il filtro a secco ha mostrato delle prestazioni ambientali migliori rispetto allo scrubber acido ad umido per tre motivi:

1. Le categorie di impatto influenzate positivamente dallo scenario con filtro a secco sono sempre più numerose di quelle dello scenario con scrubber acido ad umido. Infatti, quest'ultimo ha portato a riduzioni di impatto solo per due categorie, ovvero il potenziale di formazione di particolato e l'eutrofizzazione terrestre, mentre il filtro a secco ha portato a miglioramenti, seppur minimi, anche per altre categorie, tra cui i cambiamenti climatici, l'acidificazione, l'eutrofizzazione marina e l'ecotossicità terrestre.
2. Per le due categorie migliorate anche dallo scrubber a umido (potenziale di formazione di particolato ed eutrofizzazione terrestre), il filtro a secco ha ottenuto comunque mitigazioni (espresse in % di riduzione) più elevate. In particolare, per la formazione di PM, con il filtro a secco, si è ottenuto un massimo di riduzione del -25% e -18% nelle aziende A e B mentre nello scenario dello scrubber acido ad umido solo -14% e -10%. Per l'eutrofizzazione terrestre un massimo di -24% e -16% con il filtro a secco nelle aziende A e B contro -18% e -12% nello scenario dello scrubber acido a umido.
3. Le categorie di impatto che non sono influenzate dall'abbattimento delle emissioni dato dai macchinari, mostrano un aumento maggiore con lo scrubber acido a umido. In quest'ultimo caso, infatti, si registrano aumenti non trascurabili dell'impatto, che nel caso peggiore (Azienda A, scenario di massima riduzione delle emissioni) sono addirittura superiori al 50% per la riduzione dell'ozono, le radiazioni ionizzanti, l'uso di risorse fossili e addirittura superiori al 100% per l'uso di risorse minerali e metalliche. Nel caso del filtro a secco, invece, questi aumenti sono più limitati, sempre inferiori al 5% tra le categorie, le aziende agricole e gli scenari di efficienza.

Negli scenari alternativi spagnoli, invece, lo scrubber acido ad umido è risultato più efficiente nel ridurre le emissioni di ammoniaca rispetto al filtro a secco, il che è stato correlato ad un miglioramento in diverse categorie di impatto. La formazione di particolato e l'eutrofizzazione terrestre sono diminuiti del 9.66% e dell'1.80% considerando lo scenario di massima riduzione delle emissioni. Anche l'eutrofizzazione marina, seppur in misura minore (0.16%) si è ridotta. La riduzione delle emissioni di ammoniaca ha avuto un impatto anche sulla tossicità umana con effetti cancerogeni, sull'acidificazione e sull'ecotossicità delle acque dolci, ma è stata annullata dall'aumento dell'impatto su queste categorie derivante dai materiali di consumo utilizzati per il funzionamento dello scrubber acido ad umido, in particolare dal consumo di acido citrico. Risultati simili si ottengono considerando lo scenario mediano di riduzione delle emissioni.

Pur riducendo l'impatto per le categorie sopracitate, sia lo scrubber acido ad umido che il filtro a secco aumentano l'impatto rispetto allo scenario di base per tutte le altre categorie. Ciò è dovuto al fatto che l'implementazione di queste tecnologie comporta un maggiore dispendio di energia (elettricità), infrastrutture e, nel caso dello scrubber acido ad umido, anche di materiali di consumo (acido citrico e acqua). L'impatto aggiuntivo è maggiore nel caso dello scrubber acido ad umido rispetto al filtro a secco.

Il filtro a secco ha mostrato una minore efficienza nella rimozione dell'ammoniaca, ma ha anche aggiunto un minore impatto ai risultati complessivi per ciascun indicatore (contributo inferiore all'1% a tutti gli indicatori). Inoltre, i risultati ottenuti hanno mostrato una riduzione delle emissioni di metano nello scenario con filtro a secco, che ha avuto l'effetto di ridurre notevolmente il potenziale impatto sul cambiamento climatico.

In conclusione, i sistemi di trattamento dell'aria sono tecnologie interessanti dal punto di vista ambientale e possono apportare benefici, soprattutto nelle aree in cui l'eutrofizzazione e la formazione di particolato sono problemi rilevanti a livello locale. Allo stesso tempo, questi sistemi da

soli non risolvono il problema dell'impatto ambientale dell'allevamento suinicolo, che richiede diversi interventi a vari livelli della filiera.

10. Divulgazione

Un aspetto importante delle attività del progetto è stata la diffusione ed il trasferimento dei risultati ottenuti. I principali mezzi di comunicazione utilizzati sono stati:

Website

- Sito web di progetto
- Profili sui social media (Instagram, Facebook, LinkedIn, Twitter, and YouTube channel)
- Newsletters
- Eventi di divulgazione, come workshop e conferenze
- Video
- Pubblicazioni scientifiche e tecniche
- Brochure e opuscoli
- Presentazioni a conferenze nazionali e internazionali (orali e/o poster)
- Partecipazione a fiere di settore e mostre agricole



Figura 10. Kick-off meeting

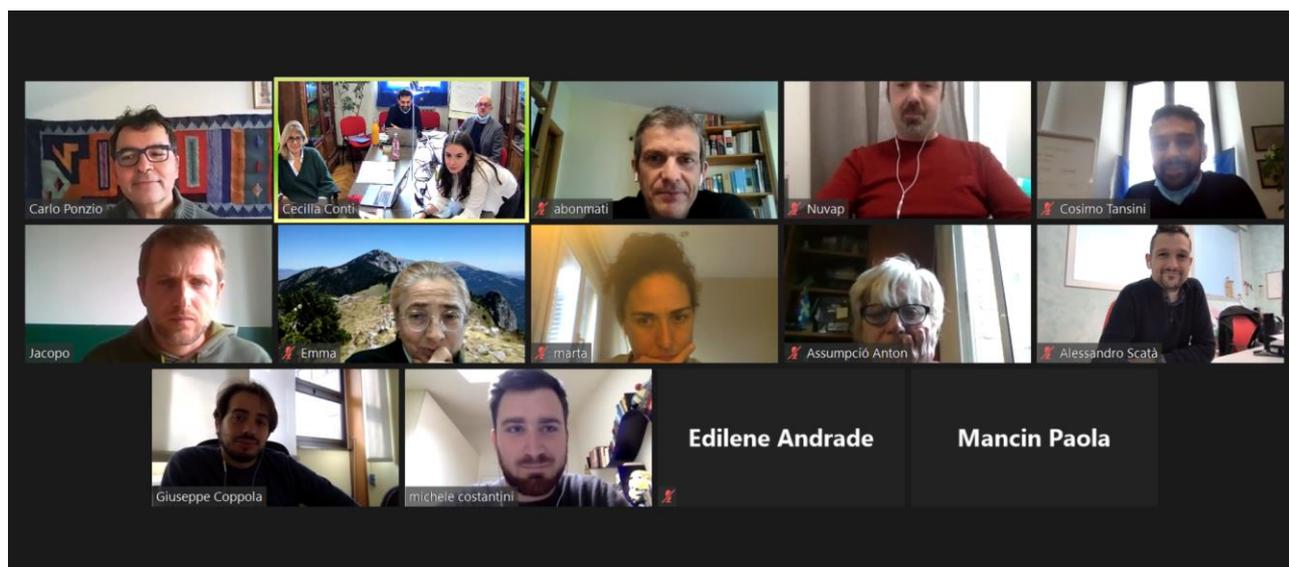


Figura 11. Riunione del comitato direttivo generale

11. Trasferimento e prospettive future

L'effettiva diffusione del trattamento dell'aria negli allevamenti di suini nell'UE è attualmente sconosciuta. Nei Paesi nord-continentali, come Belgio, Danimarca, Germania e Paesi Bassi, l'implementazione è abbastanza diffusa e addirittura obbligatoria in alcuni contesti specifici (Van der Heyden et al., 2015), e si stima che il tasso di implementazione riguardi circa il 35% del numero totale di suini ospitati. Negli altri Stati membri, invece, sebbene alcuni di essi svolgano un ruolo importante nel settore, tra cui spiccano Italia e Spagna, l'adozione di queste tecnologie è praticamente nulla. Inoltre, secondo Eurostat, la maggior parte dei suini e delle scrofe nell'Unione Europea, cioè tra il 70% e l'80%, sono allevati in aziende con più di 1000 capi, il che riflette le pratiche di allevamento intensivo.

Per ragioni sia ambientali sia economiche, è ragionevole supporre che siano proprio gli allevamenti di grandi dimensioni a poter essere interessati dalla futura introduzione delle tecnologie di trattamento dell'aria. Di conseguenza, esistono enormi opportunità di trasferimento per le tecnologie testate, che possono interessare fino a migliaia di allevamenti e milioni di capi di suini, portando a riduzioni significative e diffuse delle emissioni di inquinanti atmosferici in tutta l'UE e quindi a miglioramenti della qualità dell'aria.

Un singolo suino da ingrasso, secondo le stime dell'Agenzia Europea dell'Ambiente, è responsabile di un'emissione media annua di circa 2 kg di NH_3 e tra 0,1 e 0,2 kg di PM_{10} dalla sola fase di stabulazione (cioè escludendo lo stoccaggio, il trattamento e l'applicazione in campo del letame). Partendo da questi dati e combinandoli con la popolazione suina dell'UE, è facile stimare come riduzioni di emissioni dell'ordine di quelle ottenute dal progetto potrebbero incidere pesantemente sulle emissioni complessive di questi inquinanti se le tecnologie fossero implementate su larga scala. (Costantini et al., 2020).

Le prestazioni ambientali raggiunte in questo progetto potrebbero essere migliorate in futuro grazie all'ottimizzazione delle operazioni che consentono un migliore equilibrio tra l'abbattimento delle emissioni di ammoniaca e di particolato e l'uso dei materiali di consumo (cioè l'elettricità e la soluzione acida per lo scrubber acido ad umido). Tuttavia, il consumo energetico dei due sistemi, che in qualche misura rappresenta un compromesso con il beneficio ambientale derivante dalla riduzione delle emissioni, avrà un impatto sempre minore nel lungo termine, poiché l'UE mira ad aumentare costantemente la quota di energia rinnovabile nel mix energetico allo stesso ritmo.

Per quanto riguarda i gas serra, non sono stati riscontrati effetti diretti di riduzione delle emissioni da parte dello scrubber acido ad umido, ma la riduzione delle emissioni di ammoniaca ha un effetto positivo sulle emissioni indirette di N₂O, che possono verificarsi dopo la rideposizione dell'ammoniaca nel terreno. Il filtro a secco, invece, ha mostrato interessanti riduzioni di CH₄ nei test sperimentali in campo condotti sui suinetti in Spagna. Anche se il principio chimico-fisico di questo risultato non è del tutto chiaro, è certamente un tema che merita ulteriori approfondimenti per sostenerne l'installazione negli allevamenti.

Come dimostrano le analisi economiche condotte, i costi di implementazione e di gestione relativamente elevati rappresentano attualmente il principale ostacolo all'applicazione diffusa della tecnologia di trattamento dell'aria negli allevamenti di suini nell'UE, soprattutto per quanto riguarda lo scrubber acido ad umido. Tuttavia, la sua diffusione nei Paesi del nord-continentale dimostra che questa tecnica è economicamente valida negli allevamenti intensivi. Il prototipo in acciaio inox testato nel progetto dovrebbe essere riprogettato in materiale plastico, come il PVC. In questo modo, l'investimento per la sua installazione potrebbe essere ridotto. Inoltre, durante il progetto, grazie a un esperimento di scelta condotto tra i consumatori di prosciutto crudo in Italia, è emersa una certa propensione a pagare per prodotti provenienti da pratiche agricole che limitano le emissioni inquinanti (Mazzocchi et al., 2022). Tutti gli attori della filiera dovrebbero quindi concentrarsi su strategie di comunicazione efficaci riguardo all'impegno ambientale per ottenere un *premium price* che recuperi almeno in parte i costi sostenuti dagli allevatori per l'implementazione degli scrubber.

Per lo scrubber acido ad umido, anche il riutilizzo della soluzione effluente come fertilizzante è un fattore che può influenzare la decisione degli agricoltori verso l'implementazione di questa tecnologia. La ricerca futura dovrebbe concentrarsi sulle valutazioni agronomiche e ambientali relative all'uso della soluzione di citrato di ammonio che si produce grazie all'utilizzo dello scrubber e che può essere valorizzato come fertilizzante, questo aspetto è rimasto al di fuori dello scopo del presente progetto, ma potrebbe in futuro essere maggiormente indagato.

Infine, ma non meno importante, va notato che il costo ambientale indiretto per la società legato all'emissione di ammoniaca e particolato è stimato in media a 17 €/kg e 26,6 €/kg (De Bruyn et al., 2018).

In conclusione, esistono le opportunità per il trasferimento di tecnologie e per una sempre maggiore implementazione degli scrubber, che in ultima analisi avrebbero benefici ambientali ed economici all'interno delle aziende agricole e non solo.

11.1 Bibliografia

Costantini et al., 2020. Improvement of human health and environmental costs in the European Union by air scrubbers in intensive pig farming. *J. Clean. Prod.*, 275, 124007.

De Bruyn et al. 2018. Environmental Prices Handbook – EU28 Version. Publication Code: 18.7N54.125, CE Delft, Delft.

European Environmental Agency, 2019. EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook 2019, 3, B - Manure management.

Mazzocchi et al., 2022. Consumer awareness of sustainable supply chains: A choice experiment on Parma ham PDO. *Science of the Total Environment*, 836 (2022), 155602.

Van der Heyden et al., 2015. Mitigating emissions from pig and poultry housing facilities through air scrubbers and biofilters: state-of-the-art and perspectives. *Biosyst. Eng.*, 134, 74-93.



12. Progetto Life-MEGA

Smart computing system to monitor and abate the indoor concentrations of NH₃, CH₄ and PM in pig farm

Life Program 2018, Life-MEGA LIFE18 ENV/IT/000200

Durata: 01/10/2019 – 30/09/2023

Valore del progetto: 1,729,272 €

Finanziamento EU: 918,909 € (53.14%)



Dove trovare ulteriori informazioni:

<https://lifemega.unimi.it/>

lifemega@unimi.it

