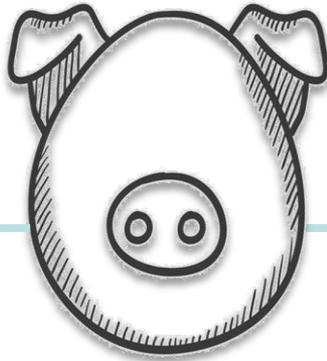




UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO

Dipartimento di Scienze e Politiche Ambientali



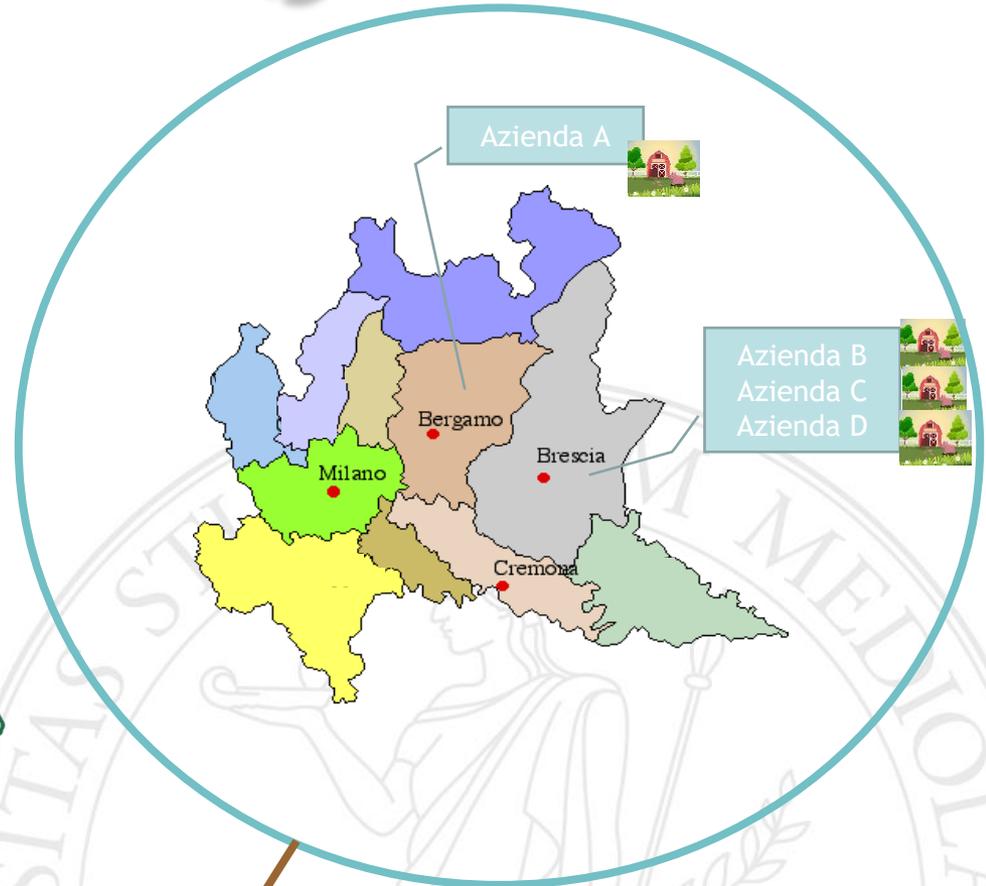
**APPROACh**



Gestione della qualità dell'aria indoor finalizzata  
ad abbattere le emissioni di ammoniaca e di  
particolato ( $PM_{10}$ )

Dr.ssa Federica Borgonovo

# Aziende suinicole



# Attività svolta durante il primo anno e risultati ottenuti

Installazione, monitoraggio e validazione dei sistemi di abbattimento

# Validazione centralina IoT per il monitoraggio dei parametri ambientali (azienda A e B)



## Monitoraggio dei parametri microclimatici: temperatura (°C) ed umidità relativa (%)

**Psicrometro a fionda:** strumento per misurare la temperatura e l'umidità dell'aria. Si avvale della differenza di temperatura tra un termometro asciutto ed uno bagnato.

**Strumento elettronico:** dispositivo in grado di rilevare questi due parametri e contemporaneamente convertirli in un segnale analogico o digitale, in modo tale da segnalarne il valore.



## Monitoraggio dei parametri microclimatici: NH<sub>3</sub>

**Multi-Gas Monitor Bruel & Kjaer Type 1302 (B&K):** strumento ad infrarossi che aspira e analizza i campioni d'aria a intervalli di tempo regolari.

**Rilevatore CMS della Dräger:** rilevatore di gas portatile dotato di chip per la misurazione istantanea delle concentrazioni di gas.



# Validazione centralina IoT per il monitoraggio dei parametri ambientali (azienda A e B)



## Monitoraggio dei parametri microclimatici: PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>

**Haz Dust (EPAM 5000):** apparecchiatura portatile altamente sensibile ed accurata per il monitoraggio del particolato. L'unità di campionamento intercambiabile permette il campionamento selettivo di PM10 e PM2,5.



## Monitoraggio della concentrazione di odore

**Campionamento:** “Principio del polmone”.

**Analisi:** olfattometria dinamica. Analisi dei campioni entro le 24 ore dal campionamento, come previsto dalla Norma Europea 13725:2004



# Installazione dei due sistemi di abbattimento (azienda C)



# Monitoraggio dei sistemi di abbattimento sull'emissione di $\text{NH}_3$ e particolato (azienda C)

- Per valutare l'efficacia dell'utilizzo dei due sistemi di abbattimento, si è deciso di far funzionare i due sistemi di abbattimento a periodi alterni.
- Periodo di funzionamento:
  - filtro a secco: 46 % del tempo
  - filtro ad umido: 20 % del tempo
- $\text{PM}_{10}$ :
  - con il **filtro a secco** si è ottenuta una riduzione del 10%
  - con lo **scrubber ad umido** si è ottenuta una riduzione del 18%
- $\text{NH}_3$ :
  - con il **filtro a secco** si è riusciti ad ottenere una riduzione massima del 35%
  - Con lo **scrubber ad umido** si è riusciti ad avere una riduzione massima del 7%

# Monitoraggio dei sistemi di abbattimento sulla concentrazione di odore emessa (azienda C)



- In base ai risultati delle analisi olfattometriche lo **scrubber ad umido** ha un'efficacia media di abbattimento degli odori pari al 16%, mentre il **filtro a secco** non è risultato efficace nella riduzione dell'impatto odorigeno.
- Effetto dello **scrubber umido**: riduzione ottenuta grazie alla cattura di composti solubili nei due serbatoi, come i composti contenenti N (ad es.  $\text{NH}_3$ ) che trattengono le molecole odorose.

# Secondo e terzo anno

Sviluppo di una centralina «smart» e gestione del microclima finalizzato ad abbattere le emissioni di  $\text{NH}_3$ , particolato e VOCs

# Installazione dei due sistemi di abbattimento (azienda D)



Filtro a secco

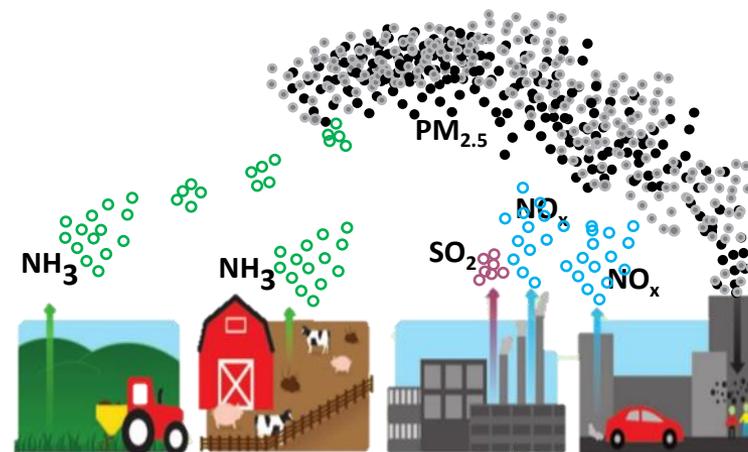


Scrubber ad umido



Centralina «smart»

# Lo scrubber e la sua capacità di abbattere l'ammoniaca emessa



L'ammoniaca (NH<sub>3</sub>), liberata in atmosfera, si combina con altri gas inquinanti per generare le "polveri sottili" (particolato secondario).

# Utilizzo delle trappole acide

**Scopo analisi:** cattura dell'ammoniaca.

**Struttura:** due Dreschel contenenti ciascuna 300 ml di soluzione di acido bórico 1% ( $\text{H}_3\text{BO}_3$ ).

**Posizionamento:** al di fuori del capannone dove confluiscono i tubi PTFE provenienti dall'IN e dall'OUT dello scrubber ad umido.

**Funzionamento:** l'aria proveniente dall'IN e dell'OUT dello scrubber ad umido passa all'interno delle Dreschel e l'ammoniaca presente nelle bolle d'aria viene fissata nella soluzione di acido bórico.





## Trappole acide:

- Collegate direttamente allo scrubber ad umido
- Sono considerate un sistema di riferimento
- Non è possibile effettuare un monitoraggio 24/7 con le trappole acide
- Sistema *Time-consuming*



VS



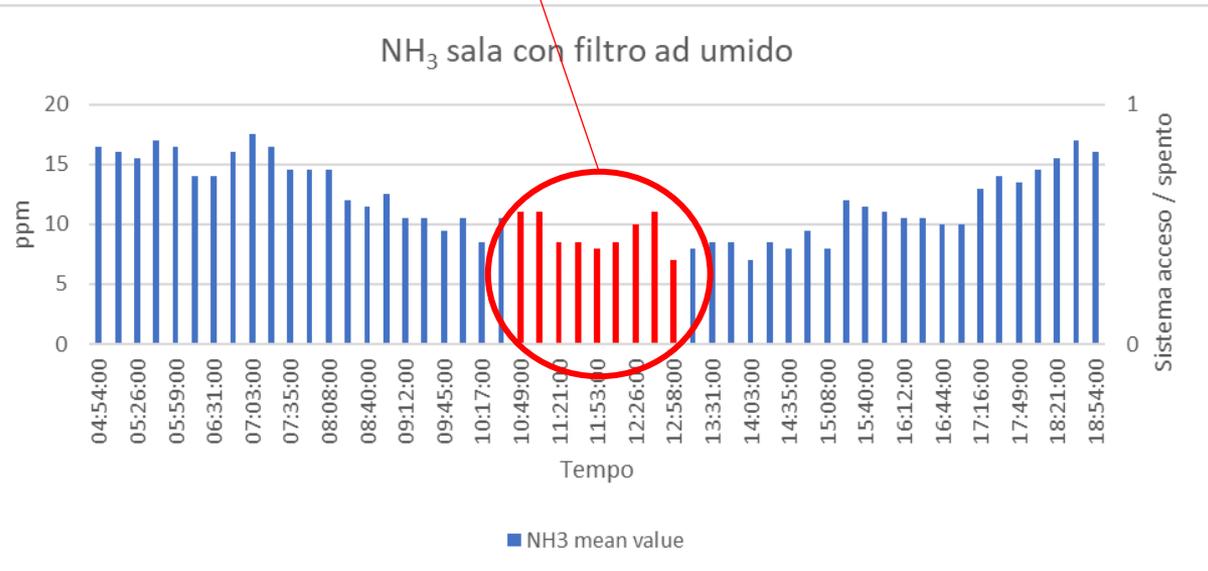
## Centralina microclimatica:

- Installata in allevamento in modo da monitorare 24/7 l'aria indoor
- Sensibile alle variazioni ambientali
- Gestione remota della centralina

Poiché è impossibile monitorare 24/7 un sistema di abbattimento utilizzando i risultati delle trappole acide, per comprendere l'efficacia dei sistemi sono stati analizzati i risultati dei dati raccolti dalla centralina "smart"

# Esempio dell'efficacia di abbattimento dello **scrubber ad umido** sulla riduzione di ammoniaca (NH<sub>3</sub>)- Stagione invernale

Funzionamento dello scrubber. Durata 1h38m



Temperatura interna: 21,6 °C  
Temperatura esterna: 7 °C

Dati raccolti con la centralina microclimatica  
-15% NH<sub>3</sub>

Dati raccolti con l'utilizzo delle trappole acide  
-89,4% NH<sub>3</sub>

Centralina microclimatica			
	SISTEMA OFF NH <sub>3</sub>	SISTEMA ON NH <sub>3</sub>	RIDUZIONE
Media	11,05 ppm	9,36 ppm	15 %
Deviazione standard	1,6 ppm	1,3 ppm	

	TRAPPOLE ACIDE	
IN	OUT	% abbattimento
7,066 ppm	0,749 ppm	89,4

Ammonio citrato tribasico (g/kg)
8,65

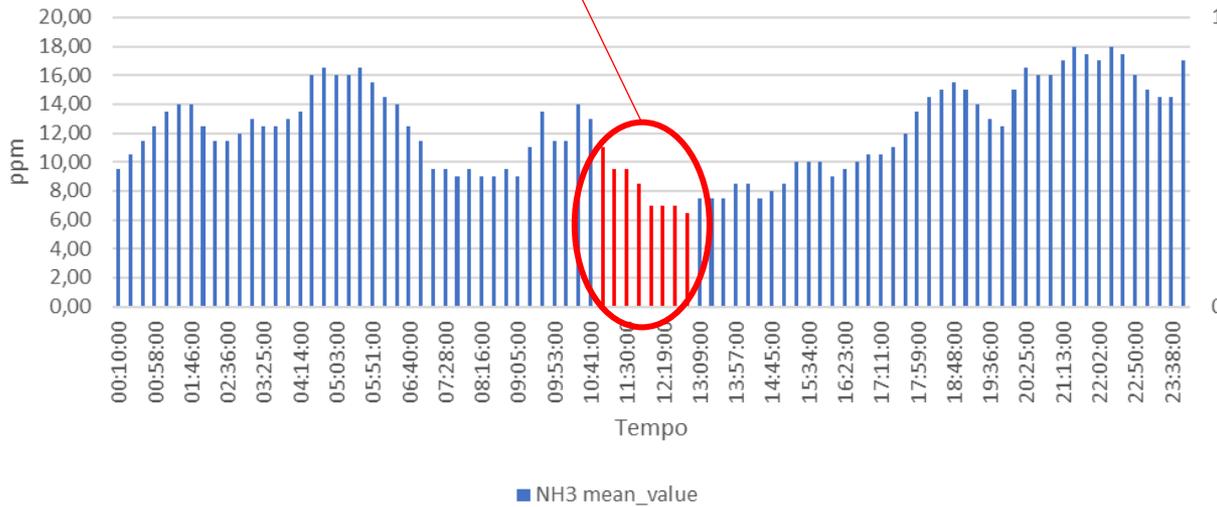


# Esempio dell'efficacia di abbattimento dello **scrubber ad umido** sulla riduzione di ammoniaca ( $\text{NH}_3$ ) durante la stagione primaverile

Funzionamento dello scrubber. Durata 1h38m



$\text{NH}_3$  sala con filtro ad umido



Temperatura interna: 25 °C

Temperatura esterna: 22 °C

Dati raccolti con centralina microclimatica  
-28%  $\text{NH}_3$



Dati raccolti con l'utilizzo delle trappole acide  
-80,9%  $\text{NH}_3$

## Centralina microclimatica

	SISTEMA OFF $\text{NH}_3$	SISTEMA ON $\text{NH}_3$	RIDUZIONE
Media	10,96 ppm	7,86 ppm	28 %
Deviazione standard	1,81 ppm	1,28 ppm	

## TRAPPOLE ACIDE

IN	OUT	% abbattimento
1,130 ppm	0,216 ppm	80,9

## Ammonio citrato tribasico (g/kg)

0,10



# Il **filtro a secco** e la sua capacità di abbattere l'ammoniaca emessa



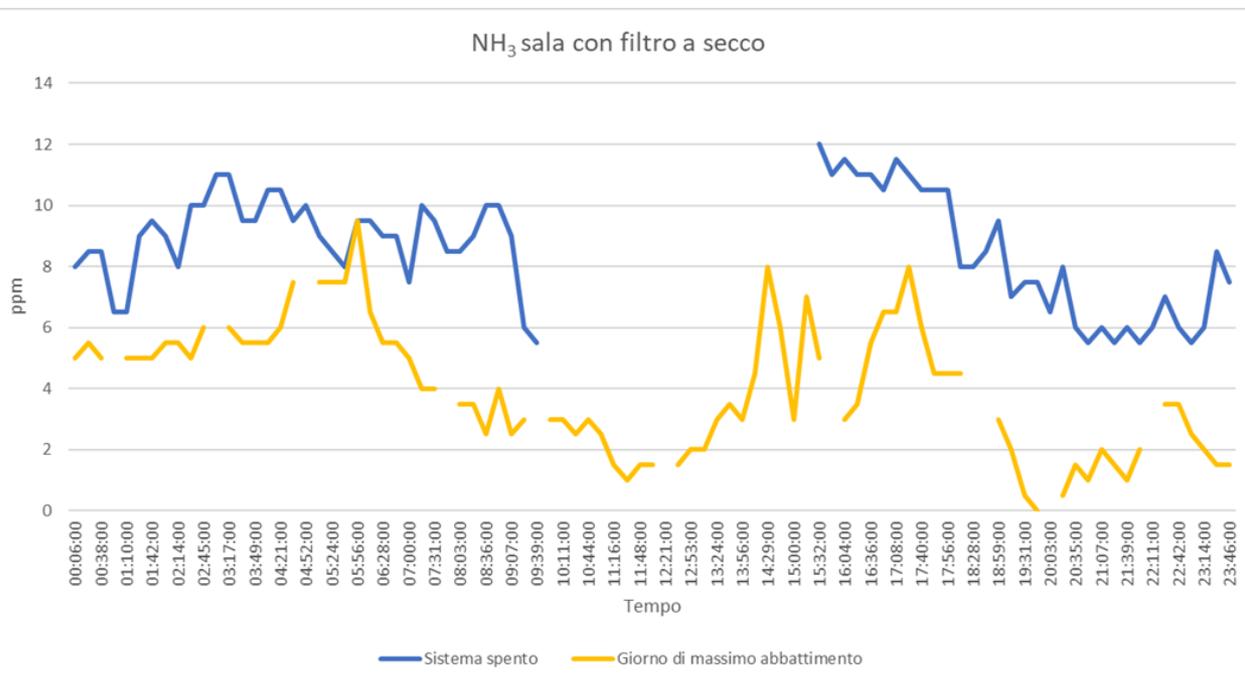
# Esempio dell'efficacia di abbattimento del **filtro a secco** sulla riduzione di ammoniaca (NH<sub>3</sub>)- Stagione primaverile



Temperatura interna: 22 °C

Temperatura esterna: 20 °C

Massima % di  
abbattimento  
54% NH<sub>3</sub>



## Centralina microclimatica

**SISTEMA OFF**

**Giorno di massimo  
abbattimento**

**Riduzione**

Media

8,6 ppm

4,0 ppm

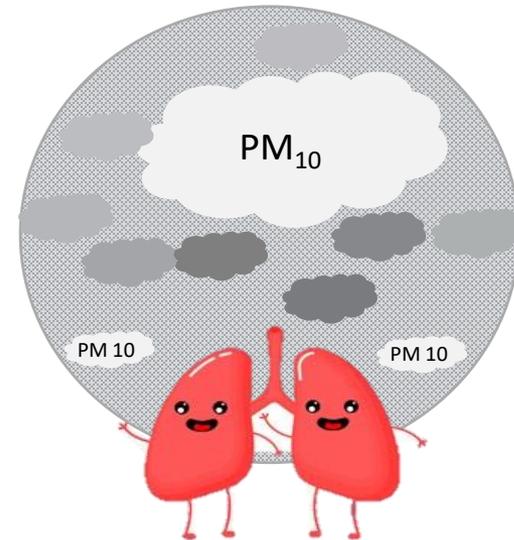
54 %

Deviazione standard

1,8 ppm

2,1 ppm

# Lo **scrubber** e la sua capacità di abbattere il particolato emesso



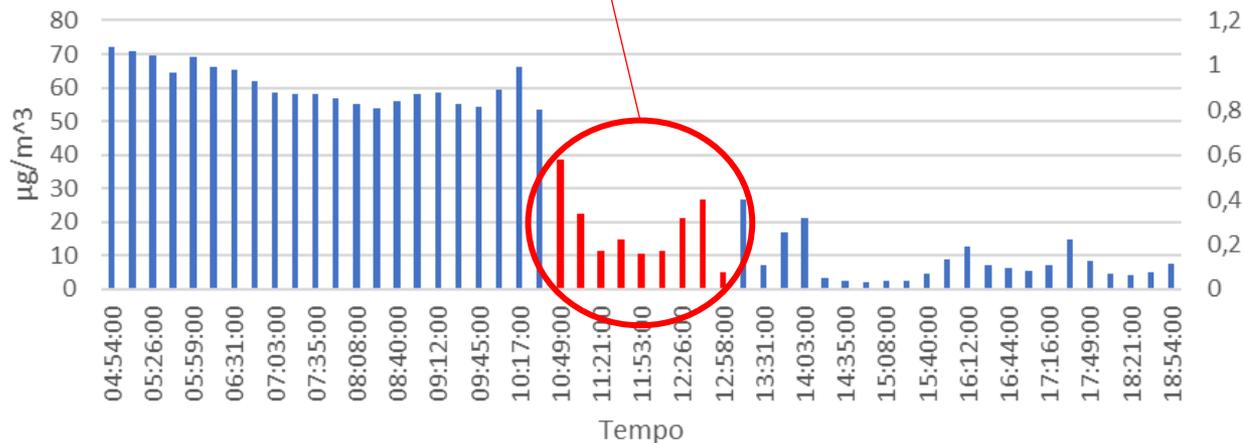
# Esempio dell'efficacia di abbattimento dello **scrubber ad umido** sulla riduzione di particolato (PM<sub>10</sub>) - Stagione invernale



Funzionamento dello scrubber. Durata 1h38m



PM10 sala con filtro ad umido



In rosso i valori di PM 10 registrati durante il funzionamento dello scrubber

■ pm10 mean value

Temperatura interna: 21 °C  
Temperatura esterna: 7 °C

Dati raccolti con la centralina microclimatica  
-69% PM<sub>10</sub>

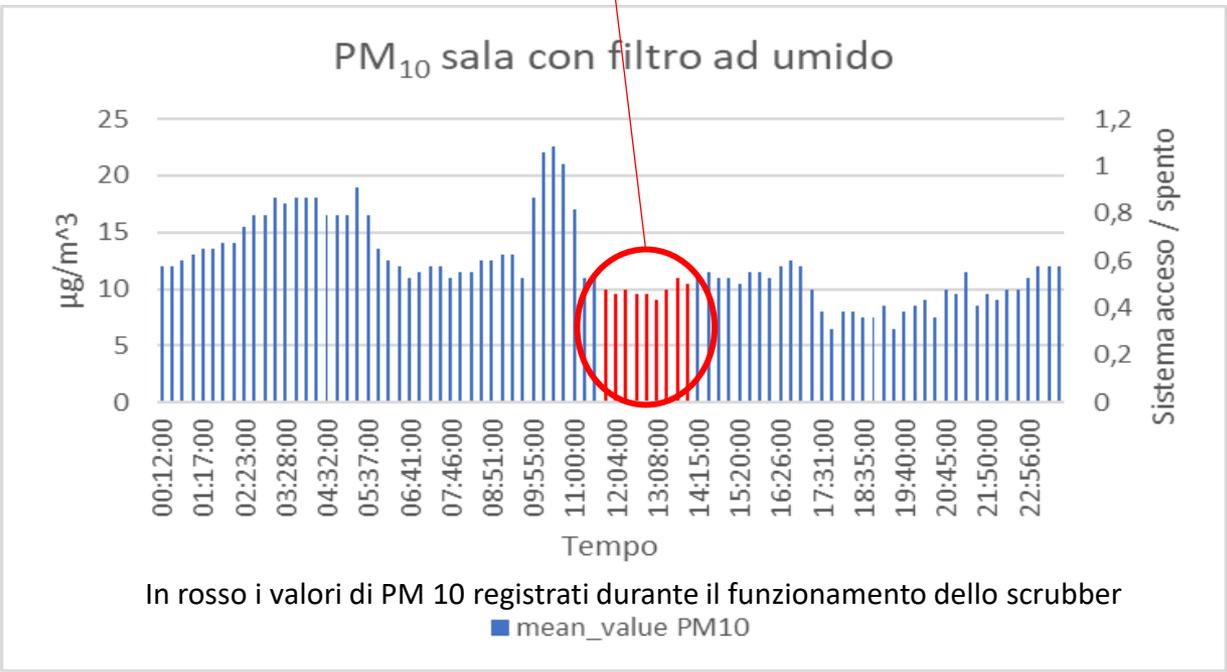
## Centralina microclimatica

	SISTEMA OFF PM 10	SISTEMA ON PM 10	RIDUZIONE
Media	55,32 µg/m <sup>3</sup>	16,93 µg/m <sup>3</sup>	69 %
Deviazione standard	6,6 µg/m <sup>3</sup>	6,4 µg/m <sup>3</sup>	



# Esempio dell'efficacia di abbattimento dello scrubber ad umido sulla riduzione di particolato (PM<sub>10</sub>) - Stagione primaverile

Funzionamento dello scrubber. Durata 1h28m



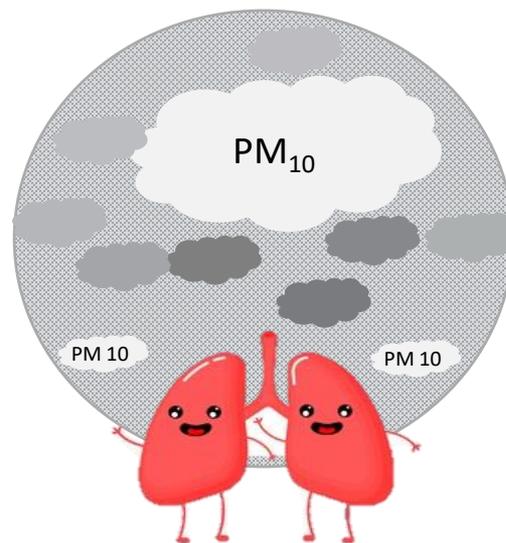
Temperatura interna: 30 °C  
Temperatura esterna: 28 °C

Dati raccolti con la centralina microclimatica:  
-36% PM<sub>10</sub>

Centralina microclimatica			
	SISTEMA OFF PM 10	SISTEMA ON PM 10	RIDUZIONE
Media	15,41 µg/m <sup>3</sup>	9,79 µg/m <sup>3</sup>	36 %
Deviazione standard	4,8 µg/m <sup>3</sup>	0,6 µg/m <sup>3</sup>	



# Il **filtro a secco** e la sua capacità di abbattere il particolato emesso



# Esempio dell'efficacia di abbattimento del **filtro a secco** sulla riduzione di particolato (PM<sub>10</sub>) - Stagione primaverile



Temperatura interna: 25 °C  
 Temperatura esterna: 21 °C

Attività operatore all'interno del capannone

Dati raccolti con la centralina microclimatica: -48% PM10

Centralina microclimatica			
	SISTEMA OFF	SISTEMA ON	RIDUZIONE
Media	22,7 µg/m <sup>3</sup>	11,9 µg/m <sup>3</sup>	48 %
Deviazione standard	6,3 µg/m <sup>3</sup>	7,8 µg/m <sup>3</sup>	



# Massimo effetto di abbattimento del **filtro a secco** sulla riduzione di particolato (PM<sub>10</sub>) – Stagione estiva



Temperatura interna: 28 °C  
 Temperatura esterna: 25 °C

Dati raccolti con la centralina microclimatica:  
 -82% PM<sub>10</sub>

	Centralina microclimatica		
	SISTEMA OFF	SISTEMA ON	RIDUZIONE
Media	30,2 µg/m <sup>3</sup>	5,6 µg/m <sup>3</sup>	82 %
Deviazione standard	4,2 µg/m <sup>3</sup>	3,8 µg/m <sup>3</sup>	



---

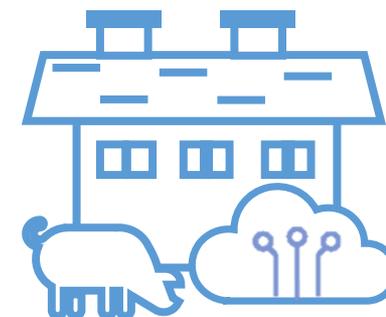
## Gestione “smart” del microclima



# Centraline ed attuatore



Installazione di centraline ingegnerizzate per creare un sistema di gestione autonomo e «smart» in grado di garantire una corretta gestione del microclima attraverso l'attuazione dei sistemi installati.



Il sistema ha lo scopo di abbattere le emissioni di particolato, ammoniaca attivando automaticamente, quando necessario, i sistemi di abbattimento minimizzando così i consumi energetici.



# Incontro per limiti per implementare il sistema smart



## TAVOLA ROTONDA CON GLI ATTORI DELLA FILIERA DEL SUINO **13 MAGGIO 2021**

Confronto tra i partecipanti di questa tavola rotonda per definire i valori soglia di ammoniaca e particolato all'interno della porcilaia.

Definizione dei range di  $\text{NH}_3$  e  $\text{PM}_{10}$

- $\text{NH}_3$ : 10 - 15 ppm
- $\text{PM}_{10}$ : 300 e i 500  $\mu\text{g}/\text{m}^3$



# Utilizzo della centralina «smart» in allevamento Sala con **scrubber ad umido**

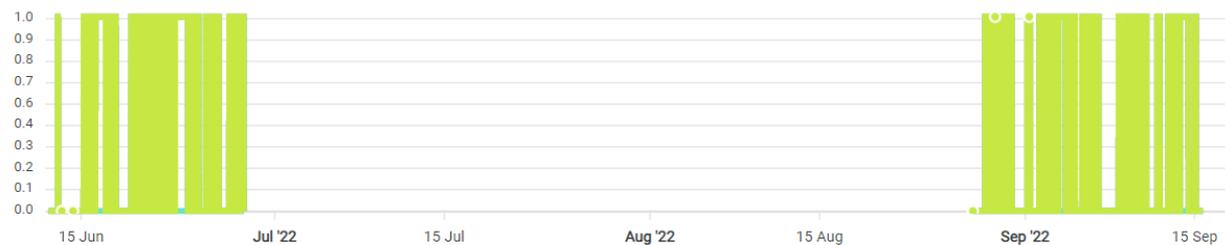


Temperatura interna: 25 °C

Temperatura esterna: 25 °C

stagione primaverile:  
% di attivazione dello scrubber 36% del tempo totale monitorato

Attivazione



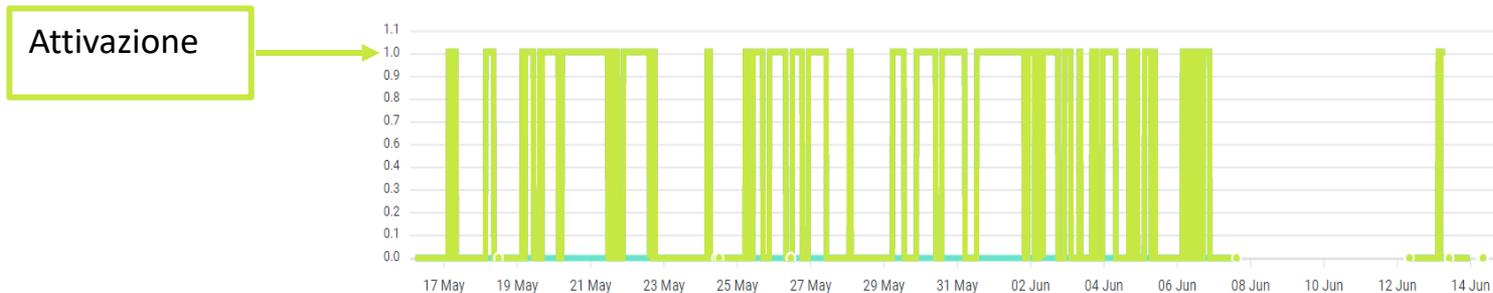
# Utilizzo della centralina «smart» in allevamento Sala con **filtro a secco**



Temperatura interna: 25 °C    Temperatura esterna: 24 °C

Stagione primaverile:

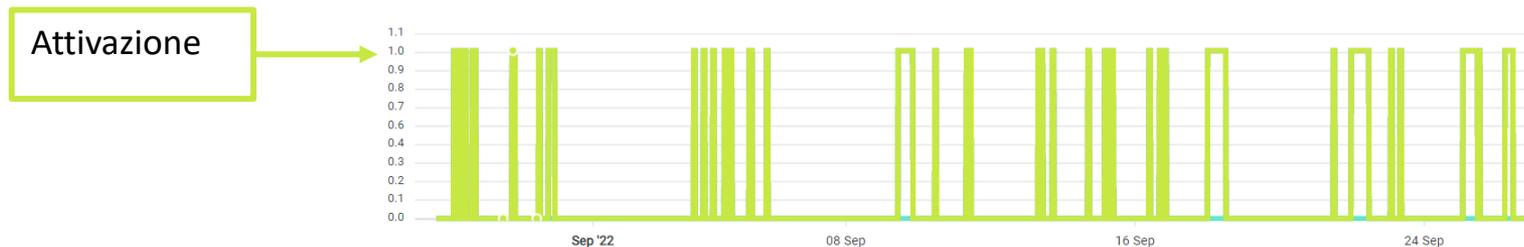
% di attivazione dello filtro a secco: 43% del tempo totale monitorato



Temperatura interna: 28 °C    Temperatura esterna: 25 °C

Stagione estiva:

% di attivazione del filtro a secco: 13% del tempo totale monitorato



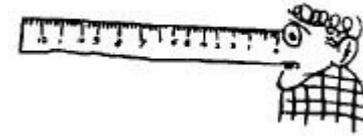


---

# Abbattimento degli odori



# Campionamento



Norma europea EN 13725: «Qualità dell'aria - Determinazione della concentrazione di odori mediante olfattometria dinamica». Vengono definite le procedure da seguire durante il campionamento e l'analisi.

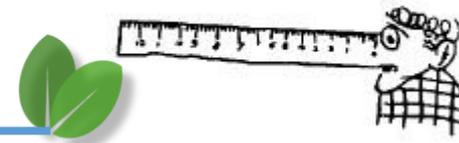
La norma EN 13725: 2003 fa riferimento solo all'olfattometria dinamica destinata alla misurazione della concentrazione di odori alle emissioni.



Campionamento eseguito secondo il “Principio del polmone”.

Analisi mediante olfattometria dinamica entro le 24 ore come previsto dalla Norma Europea 13725:2004.

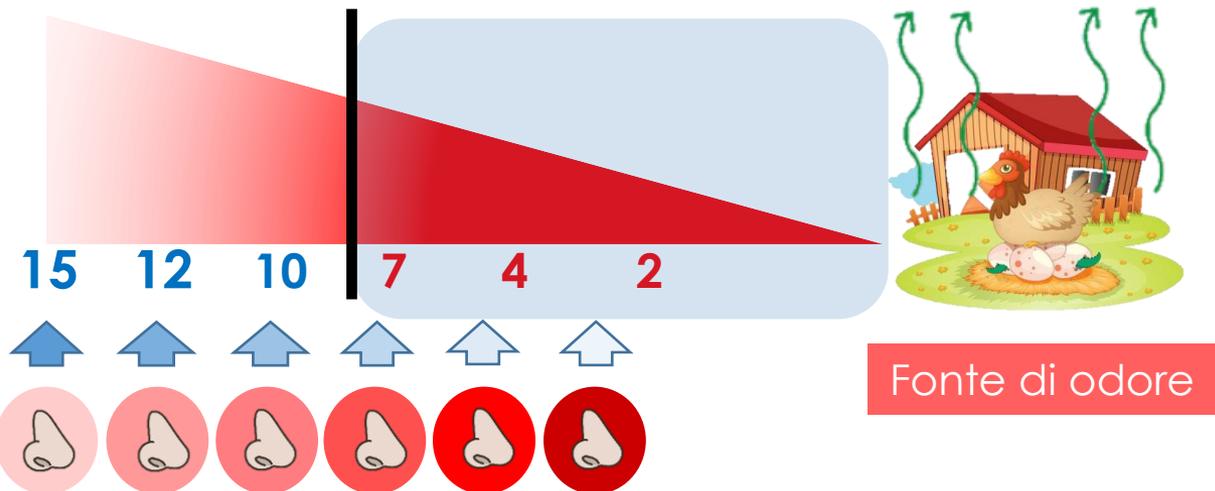
# Analisi olfattometrica - Olfattometria dinamica



- Questa metodologia rappresenta il metodo standardizzato utilizzato per determinare la concentrazione di odore di un campione di aria.
- La concentrazione di odore è espressa in Unità Odorimetrica al metro cubo ( $\text{UO}/\text{m}^3$ ) ed è numericamente uguale al fattore di diluizione necessario per raggiungere la soglia di odore, ovvero la concentrazione minima percepita dal 50% della popolazione.
- L'unità odorimetrica di un odore viene calcolata come media geometrica dei valori di soglia olfattiva di ciascun relatore.



## Soglia di rilevamento



Numero di diluizioni con aria neutra necessarie per portare il campione di odori alla concentrazione di soglia di rilevamento degli odori.

Il campione viene presentato al panel di rinoanalisti a concentrazioni crescenti fino a quando i membri del panel iniziano a percepire un odore diverso dall'aria neutra di riferimento.

# Olfattometro T08



Olfattometria  
dinamica

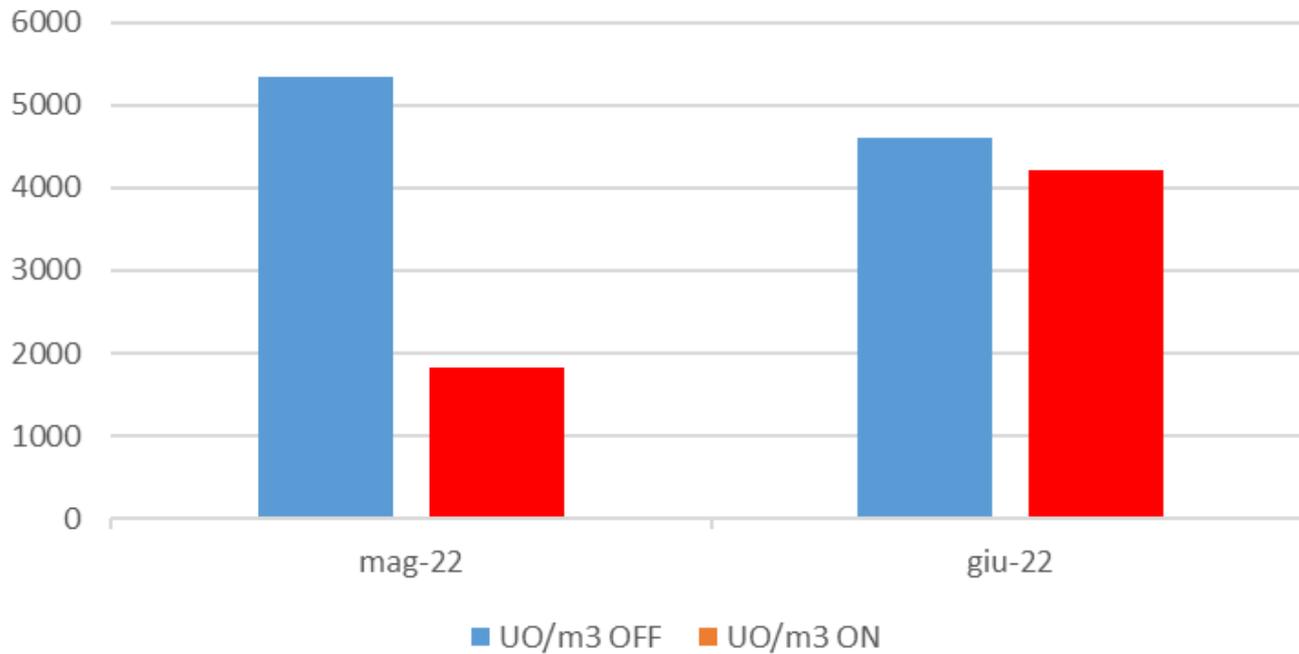
Metodo  
SI/NO

Percepisco o non  
percepisco  
l'odore



# Effetto dello **scrubber ad umido** sulla concentrazione di odore

UO/m<sup>3</sup> sala con filtro ad umido



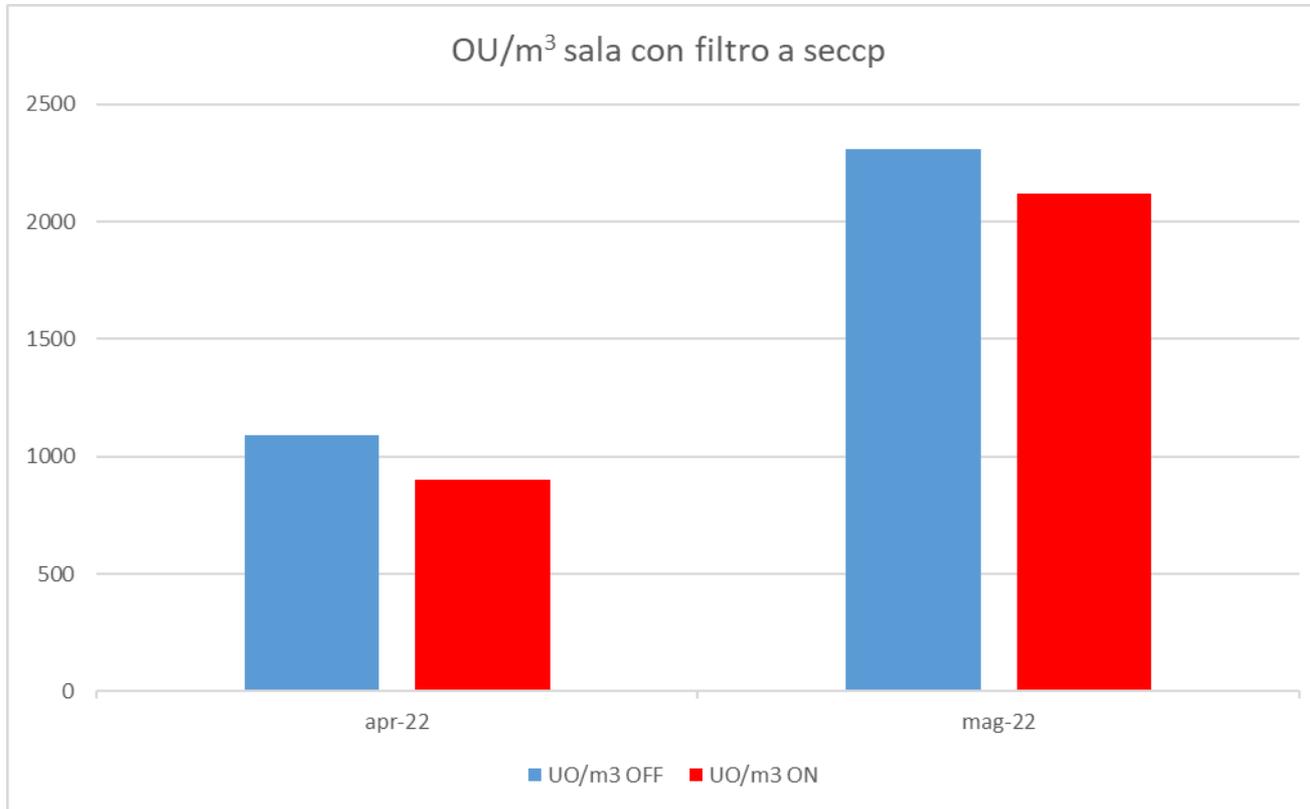
Mese di maggio  
-66% odori

Mese di giugno  
-9% odori

Campionamento	SISTEMA OFF	SISTEMA ON	RIDUZIONE
Mese di maggio	5346	1835	66 %
Mese di giugno	4604	4202	9 %



# Esempio dell'efficacia del **filtro a secco** sulla concentrazione di odore



Mese di aprile  
-18% odori

Mese di maggio  
-8% odori

Campionamento	SISTEMA OFF	SISTEMA ON	RIDUZIONE
Mese di aprile	1093	900	18 %
Mese di maggio	2310	2118	8 %



---

## Determinazione delle caratteristiche chimiche



# Analisi ioni filtro per analisi particolato nell'azienda D

Raccolta di 14 filtri mediante lo strumento Haz Dust (EPAM 5000) per il monitoraggio del particolato.

Numero filtro	Campionamento		Stanza		Stato	
	Data	Durata	wet	dry	ON	OFF
1	12/04/2022	3h		x		x
2	19/04/2022	3h		x		x
3	19/04/2022	3h		x		x
4	27/04/2022	3h		x	x	
5	27/04/2022	3h		x	x	
6	18/05/2022	3h		x	x	
7	18/05/2022	2h	x			x
8	18/05/2022	2h	x		x	
9	25/05/2022	2h	x			x
10	25/05/2022	2h	x		x	
11	24/05/2022	3h		x	x	
12	31/05/2022	2h	x		x	
13	31/05/2022	3h		x		x
14	31/05/2022	2h	x			x



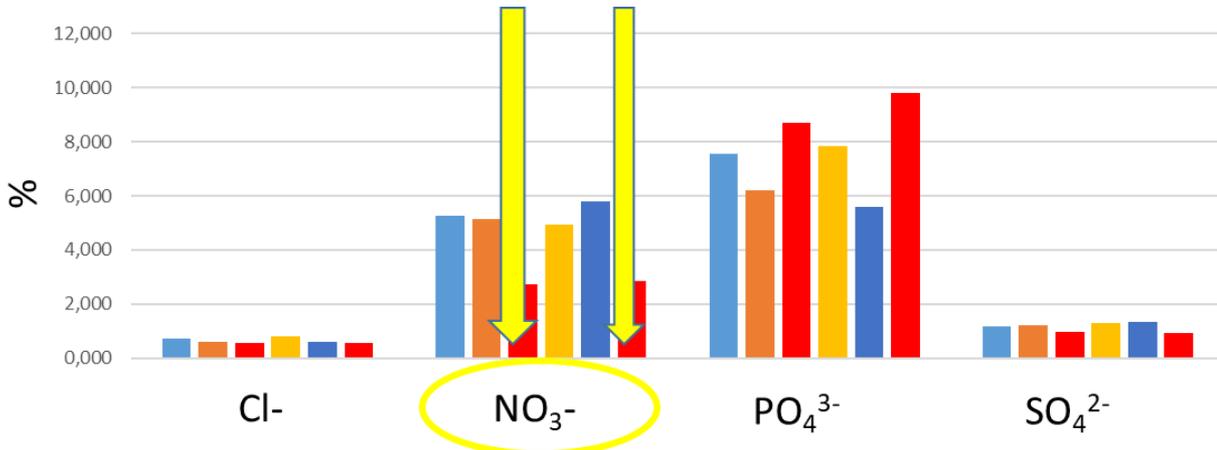
**Stanza wet:** nella stanza è presente uno **scrubber ad umido** per l'abbattimento di  $\text{NH}_3$

**Stanza dry:** nella stanza era presente un **filtro a secco** per abbattere polveri. Tale sistema è dotato di un primo filtro di materiale sintetico e di un secondo filtro a tasche in lana di vetro.

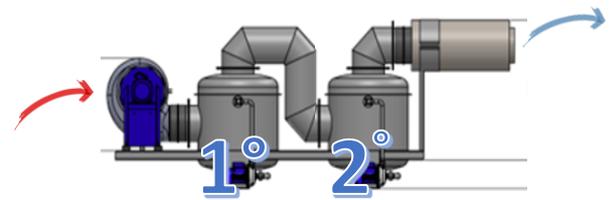
**ON:** sistema funzionante

**OFF:** sistema non funzionante

# Analisi ioni filtro – Azienda C - durante il secondo anno di sperimentazione



- Filtro 1: filtro a secco    ■ Filtro 2: filtro a secco    ■ Filtro 3: scrubber
- Filtro 4: filtro a secco    ■ Filtro 5: filtro a secco    ■ Filtro 6: scrubber



Minor concentrazione di ioni Nitrato nella stanza dove è presente lo **scrubber ad umido**

# Analisi ioni filtro – Azienda D – durante il terzo anno di sperimentazione

Numero filtro	Stanza		ppm				
	Wet	Dry	fluoruri	cloruri	nitriti	nitriti	solforati
1		X	<LOQ	<LOQ	0.92	2.39	0.56
2		X	<LOQ	<LOQ	0.98	1.16	<LOQ
3		X	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0.94	<LOQ
4		X	<LOQ	<LOQ	<LOD	<LOQ	<LOQ
5		X	<LOQ	<LOQ	<LOD	<LOQ	<LOQ
6		X	<LOQ	0.55	<LOD	<LOQ	<LOQ
7	x		<LOQ	<LOQ	<LOD	<LOQ	<LOQ
8	X		<LOQ	<LOQ	<LOD	<LOQ	<LOQ
9	X		<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0.95
10	X		<LOQ	<LOQ	<LOD	<LOQ	<LOQ
11		x	<LOQ	<LOQ	<LOD	<LOQ	<LOQ
12	x		<LOQ	<LOQ	<LOD	<LOQ	<LOQ
13		x	<LOQ	0.55	<LOQ	<LOQ	<LOQ
14	x		<LOQ	<LOQ	<LOD	<LOQ	<LOQ

Per quasi tutti i campioni i risultati mostrano valori degli anioni < al **LOQ** (Limite di quantificazione che identifica il limite inferiore di concentrazione sotto il quale il campione è quantificato) e <**LOD** (limite di rilevabilità identifica il limite inferiore di concentrazione sotto il quale il campione non può essere rilevato)

**Stanza wet:** nella stanza è presente uno **scrubber ad umido** per l'abbattimento di NH<sub>3</sub>

**Stanza dry:** nella stanza era presente un **filtro a secco** per abbattere polveri. Tale sistema è dotato di un primo filtro di materiale sintetico e di un secondo filtro a tasche in lana di vetro.

**ON:** il sistema è funzionante

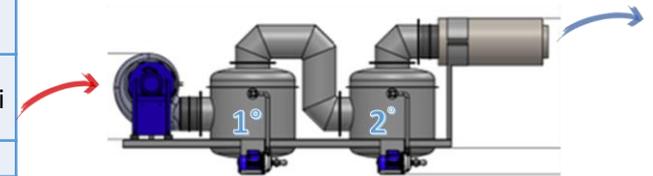
**OFF:** il sistema non è funzionante

# Analisi ioni acqua – Azienda D – durante il terzo anno di sperimentazione



Campagna di monitoraggio eseguita in diversi giorni; i campioni di acqua sono stati prelevati dal primo serbatoio dello scrubber ad umido (WET) prima del suo utilizzo (riempimento) e dopo il suo utilizzo (svuotamento dopo 2 ore).

Progressivo prova	campione	Operazione	Data campionamento	ppm				
				fluoruri	cloruri	nitriti	nitriti	solforati
1	carico	riempimento	18/05/2022	-	-	-	-	-
	scarico	svuotamento	18/05/2022	-	-	-	-	-
2	carico	riempimento	25/05/2022	<LOQ	1.28	4.47	0.79	3.30
	scarico	svuotamento	25/05/2022	<LOQ	3.40	2.10	<LOQ	3.96
3	carico	riempimento	31/05/2022	<LOQ	1.24	<LOD	<LOQ	2.47
	scarico	svuotamento	31/05/2022	<LOQ	1.35	<LOD	<LOD	4,67
4	carico	riempimento	07/06/2022	<LOQ	1.36	<LOD	<LOD	2.34
	scarico	svuotamento	07/06/2022	<LOQ	1.27	<LOD	N.D.	2.97
5	carico	riempimento	14/06/2022	<LOQ	3.79	<LOD	<LOD	0.84
	scarico	svuotamento	14/06/2022	-	-	-	-	-
6	carico	riempimento	21/06/2022	-	-	-	-	-
	scarico	svuotamento	21/06/2022	-	-	-	-	-
7	carico	riempimento	05/07/2022	-	-	-	-	-
	scarico	svuotamento	05/07/2022	-	-	-	-	-



Le analisi hanno mostrato un **lieve aumento** degli **ioni solfato** nei campioni prelevati **dopo il funzionamento** dello scrubber (svuotamento) mentre per il **campione prelevato in data il 25/05 dopo il funzionamento** dello scrubber (svuotamento) si osserva **anche un aumento degli ioni cloruri**.

Si ringraziano la Prof.ssa Paola Fermo e la Dott.ssa Valeria Comite, del Dipartimento di Chimica, che si sono occupate dello svolgimento delle analisi chimiche.

# Grazie per l'attenzione

