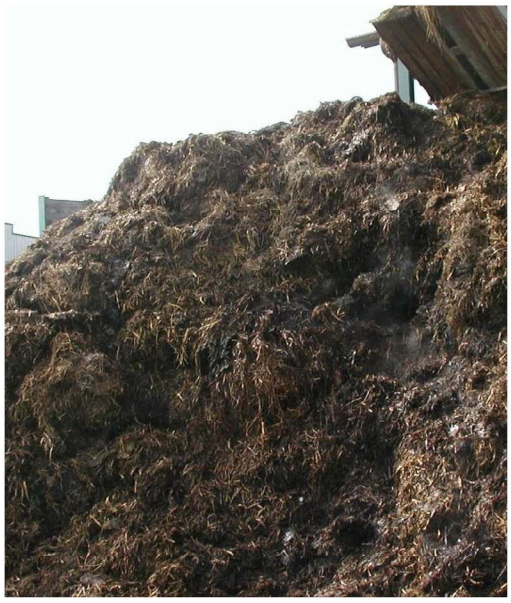
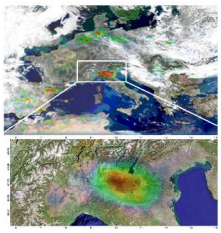


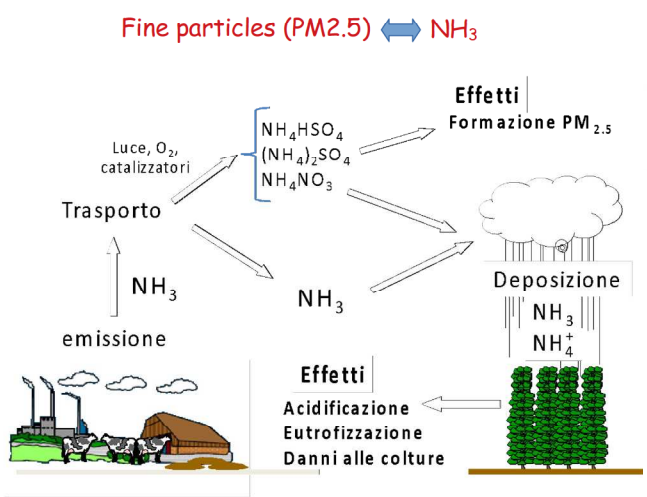
Strategie per la riduzione delle emissioni di ammoniaca del letame

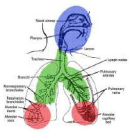
Progetti STREAL e STREAL2

Prof. Elio Dinuccio
Dott.ssa Marta Maria Gulinelli
Dipartimento di Scienze Agrarie, Forestali e Alimentari
Università di Torino

Il problema delle emissioni gassose dal settore zootecnico: ammonia (NH_3)





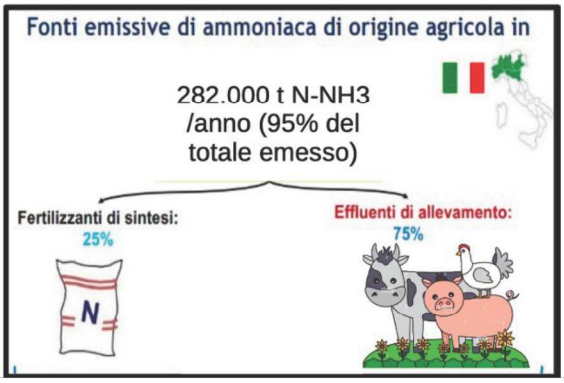


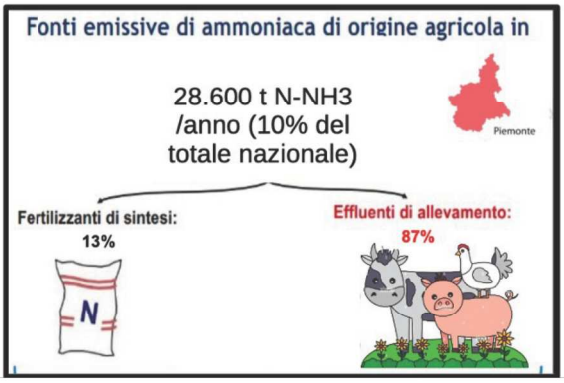
REGIONE PIEMONTE

Decreto del Consiglio regionale 284 – 15266, 27 giugno 2023

Obiettivo al 2030: riduzione delle emissioni regionali di NH_3 di circa 8.000 t/anno

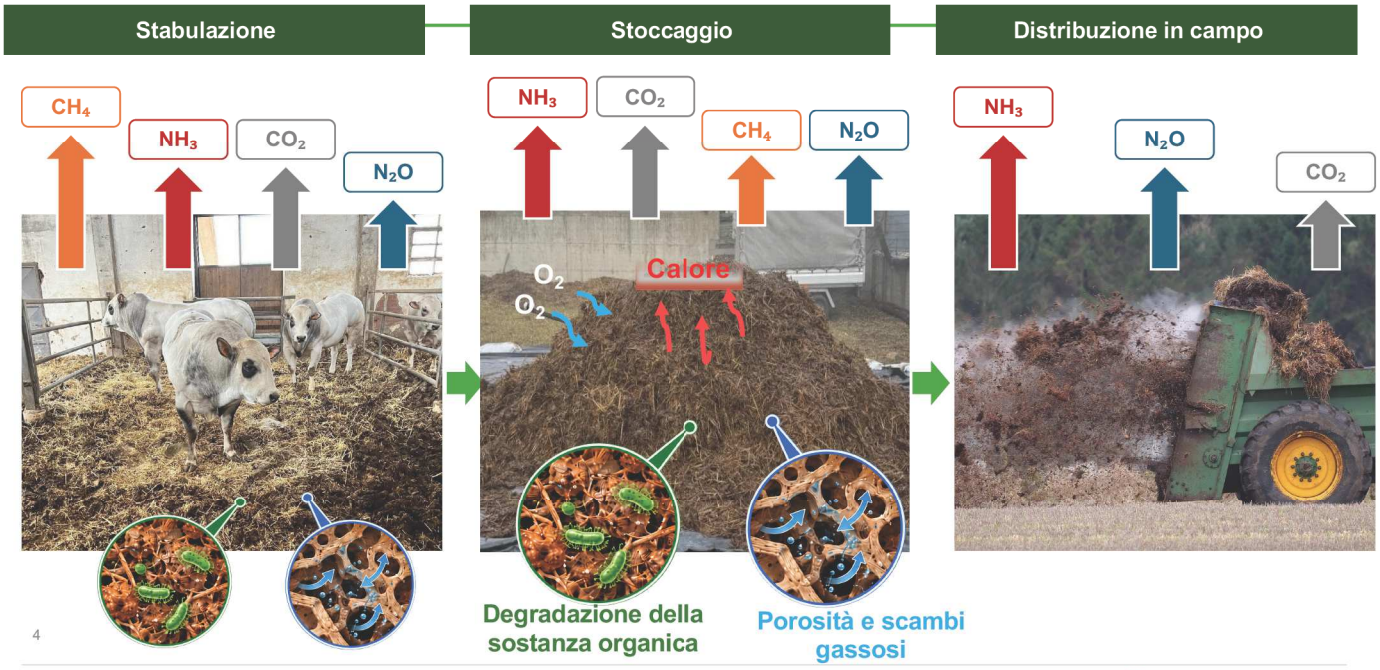
Ammoniaca di fonte agricola



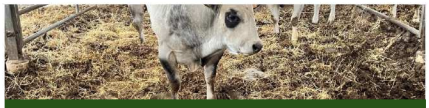


Circa il 40% sono generate dalla filiera del refluo palabile

Le emissioni lungo la filiera del letame



Le possibili soluzioni in stalla, nello stoccaggio e in campo



Stabulazione

Pulizia frequente

Asportazione periodica con mezzi meccanici: meno tempo di contatto con la superficie

+ Meno emissioni in stalla, più igiene

− Maggiori costi operativi e organizzativi

Controllo dell'umidità

Ventilazione e lettiera per evitare l'eccesso di umidità

+ Migliora il comfort animale e può favorire l'immobilizzazione microbica dell'azoto

− Richiede un monitoraggio frequente



Stoccaggio

Copertura di cumuli e platee

Riduce il contatto tra letame e aria

+ Meno ammoniaca persa (fino a - 90%), conserva il valore fertilizzante

− Costi e manutenzione, difficoltà operative

Compattamento del cumulo

Riduce il rapporto superficie/volume

+ È una misura facilmente applicabile anche quando la copertura non è possibile

− L'effetto dipende da umidità, porosità e struttura del letame



Distribuzione in campo

Interramento rapido

Incorporare il letame subito o entro poche ore dalla distribuzione (4h)

+ Molto efficace: −60/70% di ammoniaca

− Maggiori costi operativi

Dosi calibrate

Distribuire in base al fabbisogno della coltura, evitando eccessi di azoto

+ Valorizza il letame come fertilizzante, meno perdite

− Richiede analisi affidabili del letame, dati georeferenziati, attrezzature compatibili

DISAFA UNIVERSITÀ DI TORINO REGIONE PIEMONTE

Gli additivi negli allevamenti: quando si usano e quali sono



Chimici

Favoriscono le reazioni che trasformano l'azoto e riducono la perdita di ammoniaca.



Adsorbenti

Trattengono I composti ammoniacali



Biologico-enzimatici

Microrganismi ed enzimi che influenzano i processi di trasformazione dell'azoto

In quali fasi si applicano



Razione alimentare



Lettiera in stalla



Letame stoccato

- Potenziale efficacia nella riduzione delle emissioni
- Facilità di utilizzo

DISAFA UNIVERSITÀ DI TORINO REGIONE PIEMONTE

Le tre categorie di additivi

Categoria	Tipologia di additivi	Meccanismo d'azione
Additivi chimici	Sali di PO_4^{3-} e Mg^{2+}, superfosfato, gesso, KH_2PO_4, H_3PO_4, $CaSO_4$, $Al_2(SO_4)_3$, $CaCl_2$, H_2SO_4, $FeCl_3$, $MgCl_2$, $MgSO_4$, zolfo (S), $KHSO_4$, acido citrico e altri composti acidificanti	Promuovono reazioni chimiche che influenzano i processi di trasformazione dell'azoto e riducono la volatilizzazione ammoniacale
Additivi fisici (adsorbenti)	Biochar, zeolite, bentonite, perlite espansa, vermiculite, pomice, sabbia, argilla, carbone attivo, ceneri da biomassa	Agiscono mediante adsorbimento dei composti ammoniacali o modificando le proprietà fisiche del letame
Additivi biologico-enzimatici	Batteri nitrificanti e denitrificanti, microrganismi decompositori, consorzi microbici commerciali	Influenzano i processi microbiologici di trasformazione dell'azoto

Fonte: Cao et al., 2019

- Dati sperimentali ancora limitati → **necessarie validazioni in condizioni reali e variabili**

DISAFA UNIVERSITÀ DI TORINO REGIONE PIEMONTE

STrategie per la Riduzione delle Emissioni di Ammoniaca dal Letame

STREAL → STREAL2

- **Valutazione di diversi additivi** chimici, biologici ed enzimatici.
- Applicazione degli additivi **durante la stabulazione e lo stoccaggio del letame bovino**.
- I risultati hanno mostrato **indicazioni promettenti**.
- È emersa la necessità di **validare l'efficacia in condizioni reali**.

- **Ampliamento della sperimentazione** dal laboratorio alla **scala pilota**.
- Verifica dell'efficacia degli additivi in **condizioni reali**.
- Valutazione della stabilità dei risultati al variare delle **condizioni ambientali e stagionali**.
- Considerazione delle diverse **modalità di gestione aziendale**.
- Analisi dell'influenza di **lettiera, clima e stoccaggio**.

DISAFA UNIVERSITÀ DI TORINO REGIONE PIEMONTE

STREAL

Le prove di laboratorio

- Letame di 2 allevamenti bovini
- 4 trattamenti × 3 repliche

Controllo – letame non trattato

SOP EASY – fisico (adsorbente) (56 g/m²)

BiStar/Complex – biologico-enzimatico (56 g/m²)

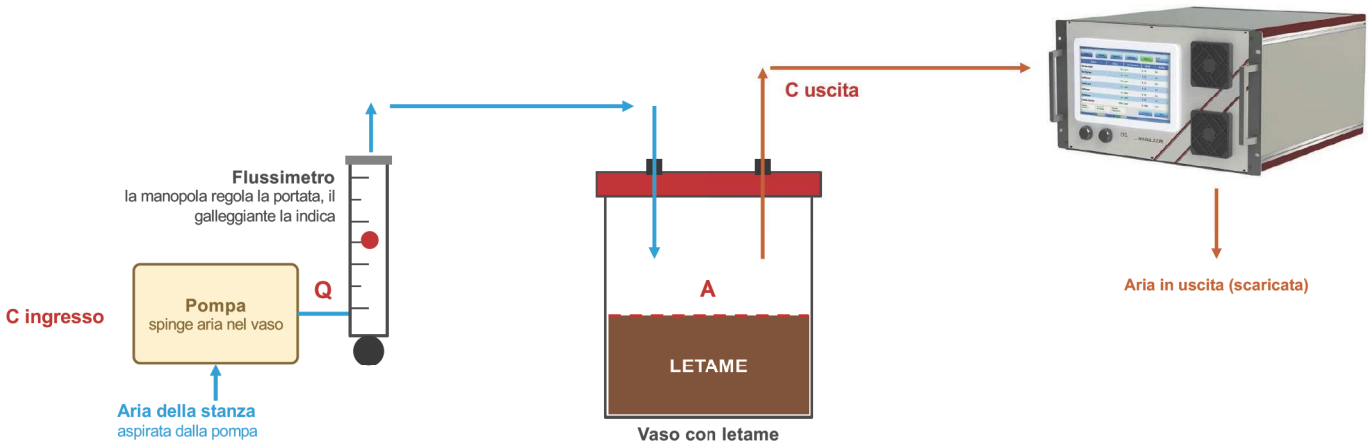
Zolfo (S 80%) – chimico (acidificante) (1 kg/t di letame)



- Temperatura controllata: 20 °C
- Sistema a camera aperta (dinamica)
- Misura delle emissioni di NH_3 con analizzatore FTIR (ETG 9500)

DISAFA UNIVERSITÀ DI TORINO REGIONE PIEMONTE

Come misuriamo le emissioni in laboratorio: la camera dinamica



Vasi con letame
in cella climatica a 20 °C, chiusi da un coperchio con ingresso e uscita per l'aria

Camera dinamica
la pompa a vuoto fa passare nel vaso un flusso d'aria costante (Q), misurato dal flussimetro

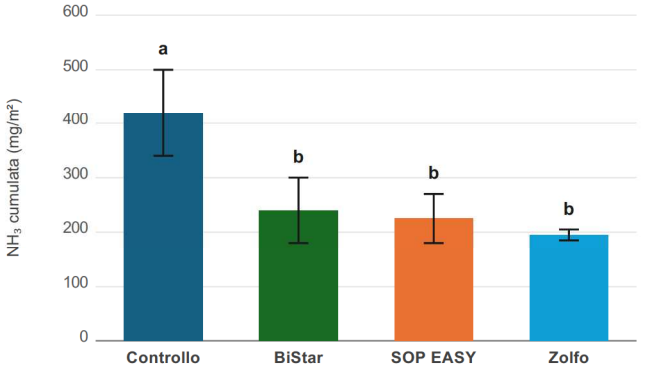
$$E = \frac{Q\ x\ (C_{uscita} - C_{ingresso})}{A}$$

DISAFA UNIVERSITÀ DI TORINO REGIONE PIEMONTE

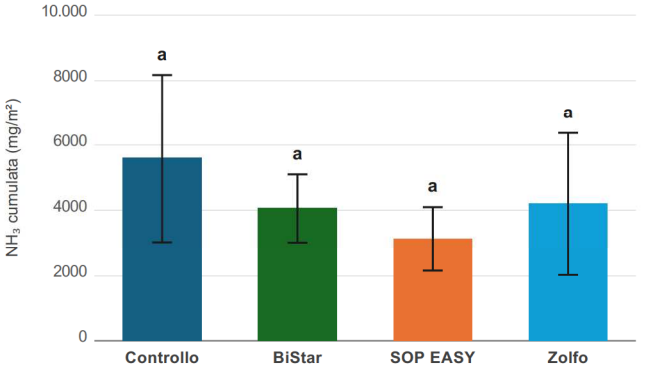
STREAL

Risultati: emissioni cumulate di NH_3

Azienda A
SS 24,4% · N totale 0,63% · $N\text{-}NH_4^+$ 658 mg/kg



Azienda B
SS 22,7% · N totale 0,55% · $N\text{-}NH_4^+$ 550 mg/kg



Riduzioni significative del 42–54% solo con il letame dell'azienda A ($p < 0,05$)

DISAFA · UNIVERSITÀ DI TORINO · REGIONE PIEMONTE

STREAL

Le prove in fase di stabulazione

Animali e Suddivisione
- 16 bovini maschi di razza Piemontese
- Peso iniziale medio: ~600 kg
- 4 gruppi sperimentali (4 animali per gruppo)

Trattamenti
- 2 gruppi alimentati con razione arricchita con **Complex-A**
- 2 gruppi alimentati con razione **senza additivi** (controllo)

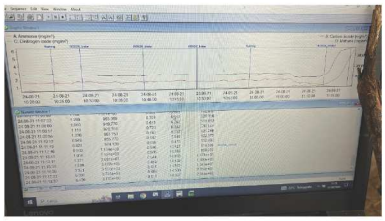
Condizioni di Allevamento:
- Box con **lettiera di paglia, rinnovata ogni 2 settimane**

Durata della prova: 120 giorni

Sistema di misura delle emissioni: sistema "*funnel*" a camera ventilata + rilevatore fotoacustico a tecnologia laser (*Qepas Multi-gas senso, ETG risorse*)





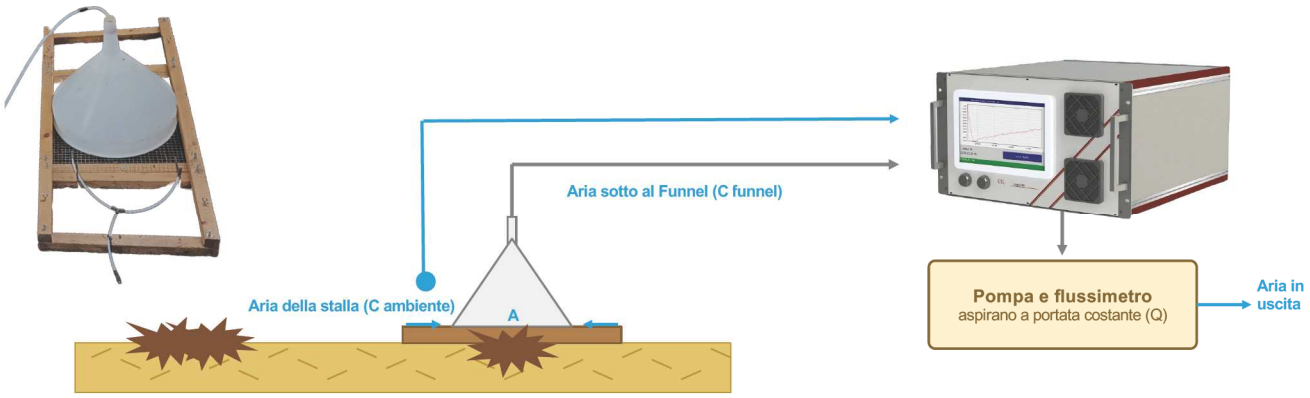


Prove condotte presso l' azienda sperimentale del Dipartimento di Scienze Veterinarie dell'Università di Torino

DISAFA · UNIVERSITÀ DI TORINO · REGIONE PIEMONTE

Come misuriamo le emissioni in stalla

STREAL



Funnel sulla lettiera
appoggiato sulla paglia del box, aspira l'aria sopra la lettiera a portata nota

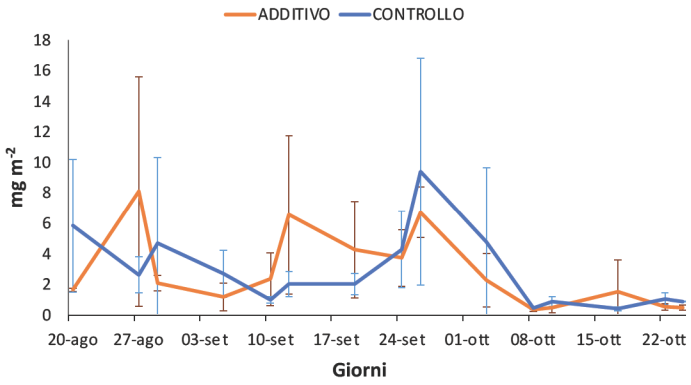
Analizzatore QEPAS Multi-gas
rilevatore fotoacustico a tecnologia laser (ETG Risorse): misura la concentrazione di NH_3

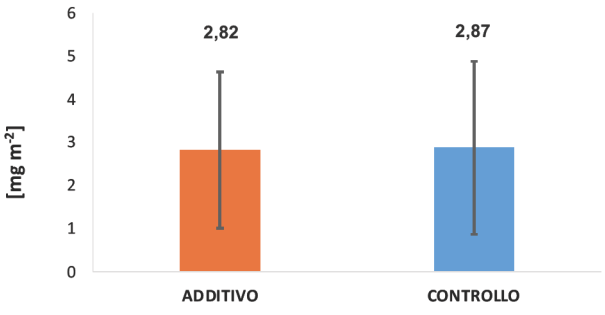
$$E = \frac{Q\ x\ (C_{Funnel} - C_{\text{Ambiente}})}{A}$$

DISAFA UNIVERSITÀ DI TORINO REGIONE PIEMONTE

Risultati: emissioni NH_3

STREAL





Nessuna differenza: dopo 2 mesi di somministrazione l'additivo in razione non ha modificato la concentrazione di NH_3 sopra la lettiera (2,82 vs 2,87 mg/m³)

DISAFA UNIVERSITÀ DI TORINO REGIONE PIEMONTE

Prove in fase di stoccaggio

STREAL

Gestione della Lettiera:

- Raccolta **bisettimanale** dalla lettiera di ciascun box
- Stoccaggio in **cumuli separati** in un'area attrezzata
- Durata della prova: **120 giorni**

Monitoraggio delle Emissioni:

- Applicazione della **tecnica della camera ventilata**
- Utilizzo di **3 wind tunnel** sulla superficie dei cumuli

Analisi delle Concentrazioni di NH_3:

- Strumento: **rilevatore fotoacustico a tecnologia laser** (QEPAS Multi-Gas Senso, ETG Risorse).
- Frequenza delle misurazioni: **2-3 volte a settimana**.



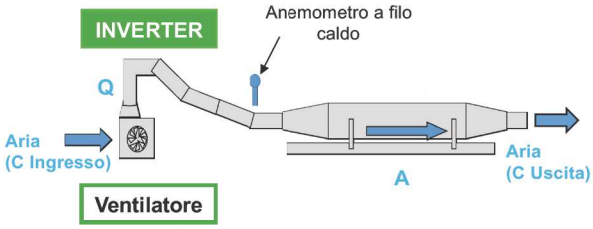
Prove condotte presso l' azienda sperimentale del Dipartimento di Scienze Veterinarie dell'Università di Torino

DISAFA UNIVERSITÀ DI TORINO REGIONE PIEMONTE

Come misuriamo le emissioni dei cumuli

STREAL







Wind tunnel sul cumulo
galleria del vento appoggiata sul letame

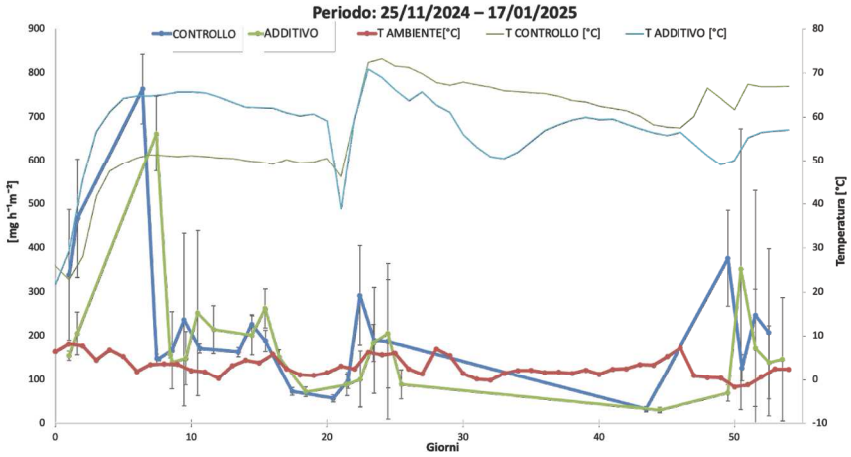
Portata d'aria nota
ventilatore con inverter e anemometro a filo caldo

$$E = \frac{Q \, x \, (C_{uscita} - C_{ingresso})}{A}$$

DISAFA UNIVERSITÀ DI TORINO REGIONE PIEMONTE

Risultati: flusso di NH_3 dai cumuli e temperatura

STREAL

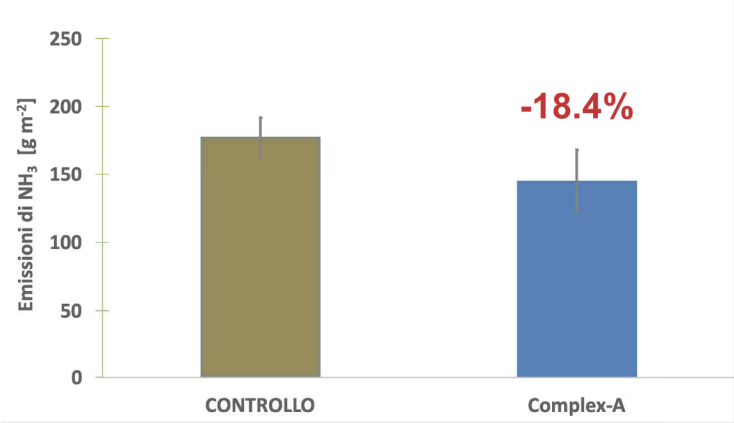


- Flussi più alti nella prima settimana, poi in calo, con nuovi picchi quando il cumulo si riscalda.
- I cumuli restano a 50–70 °C anche con aria intorno a 0 °C: il letame fermenta e produce calore.
- Controllo e additivo seguono un andamento simile.

DISAFA UNIVERSITÀ DI TORINO REGIONE PIEMONTE

Risultati complessivi: emissioni cumulate NH_3

STREAL



Tesi	Media (g/m²)	Dev. st.
Controllo	177,43	14,20
Complex-A	144,90	23,22

- Stalla e stoccaggio insieme: con Complex-A nella razione le emissioni sono state in media il 18,4% più basse.

DISAFA UNIVERSITÀ DI TORINO REGIONE PIEMONTE

STREAL2

STrategie per la Riduzione delle Emissioni di Ammoniaca dal Letame

- Prove in scala pilota in tre aziende piemontesi, d'estate e d'inverno



DISAFA

STREAL2

Prove in scala pilota in tre aziende bovine piemontesi







Soc. Agricola San Martino S.S.

Orbassano (TO)
Piemontese, ingrasso

Soc. Agricola F.lli Di Francia S.S.

Frossasco (TO)
Charolaise e Limousine, ingrasso

Soc. Agricola Garelli S.S.

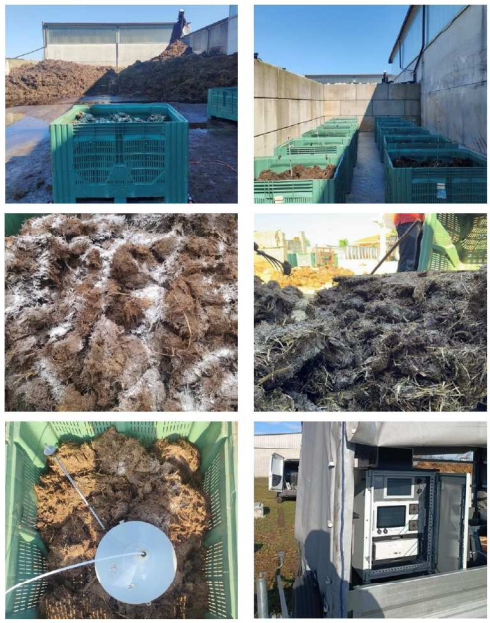
Mondovì (CN)
Piemontese, linea vacca-vitello

DISAFA UNIVERSITÀ DI TORINO REGIONE PIEMONTE

STREAL2

Allestimento sperimentale

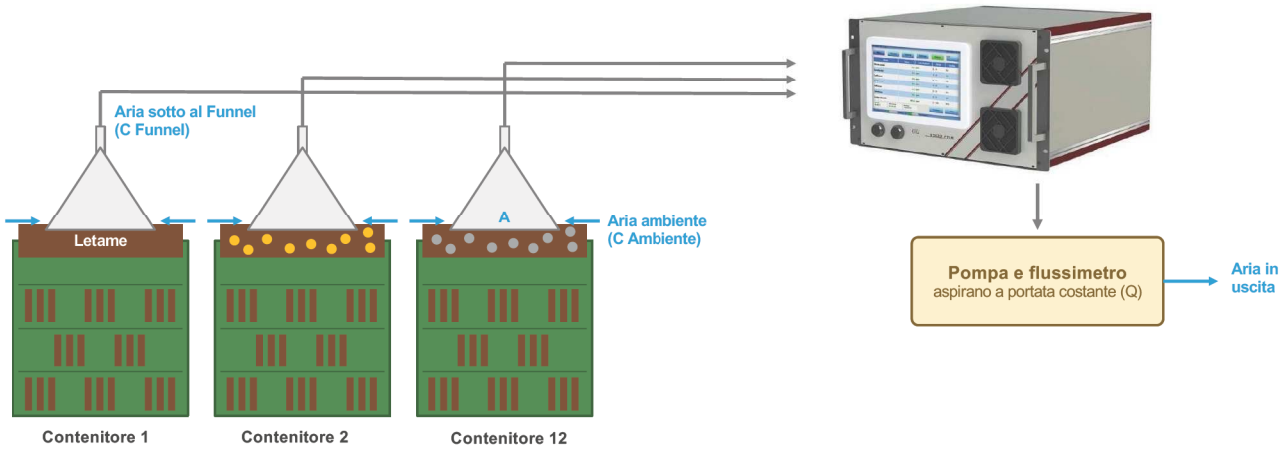
- 12 contenitori all'aperto per Azienda
- Rimozione del letame con pala meccanica
- 4 trattamenti × 3 repliche
- ~ 270 kg di letame per contenitore
- Due condizioni: **estate** e **inverno**
- Registrazione in continuo della temperatura ambientale e del cumulo
- Monitoraggio: circa 30 giorni per prova
- Misura delle emissioni di NH_3 con analizzatore fotoacustico ad alta risoluzione (ETG 8900 QEPAS, ETG Risorse)



DISAFA UNIVERSITÀ DI TORINO REGIONE PIEMONTE

STREAL2

Come misuriamo le emissioni in azienda



Funnel sul letame
aspira l'aria sopra il cumulo a portata nota

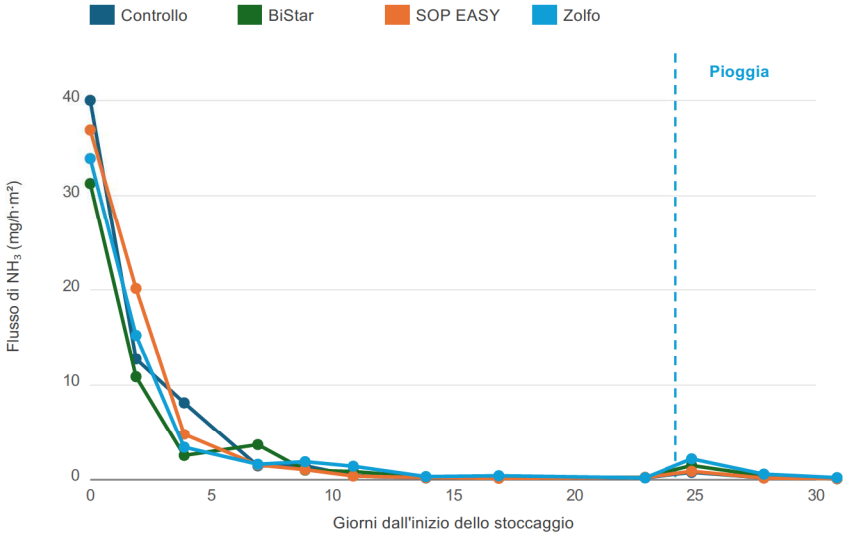
Campionatore multipunto
collega in sequenza i 12 contenitori

$$E = \frac{Q \, x \, (C_{Funnel} - C_{Ambiente})}{A}$$

DISAFA UNIVERSITÀ DI TORINO REGIONE PIEMONTE

STREAL2

Risultati: andamento emission NH_3



Prova estiva (San Martino): i 4 trattamenti seguono lo stesso andamento

Prime 24–48 ore
la maggior parte dell'ammoniaca si perde all'inizio dello stoccaggio

Pioggia
riattiva temporaneamente la volatilizzazione dell'ammoniaca

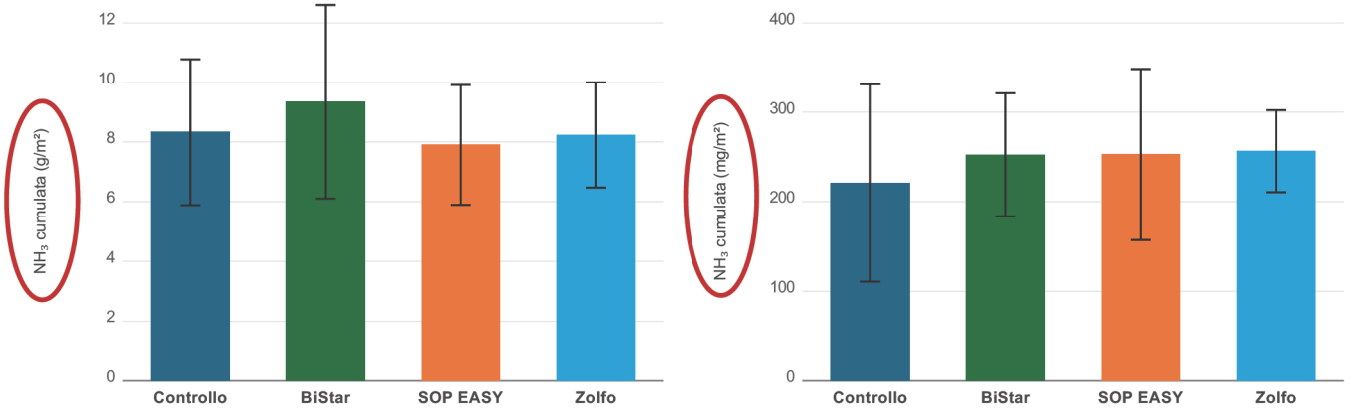
DISAFA UNIVERSITÀ DI TORINO REGIONE PIEMONTE

STREAL2

Risultati: emissioni cumulate di NH_3

Prova estiva
30,2 °C ambiente
37,3 °C media del cumulo
66,3 °C massima nel cumulo

Prova invernale
14,1 °C ambiente
14,6 °C media del cumulo
35,3 °C massima nel cumulo



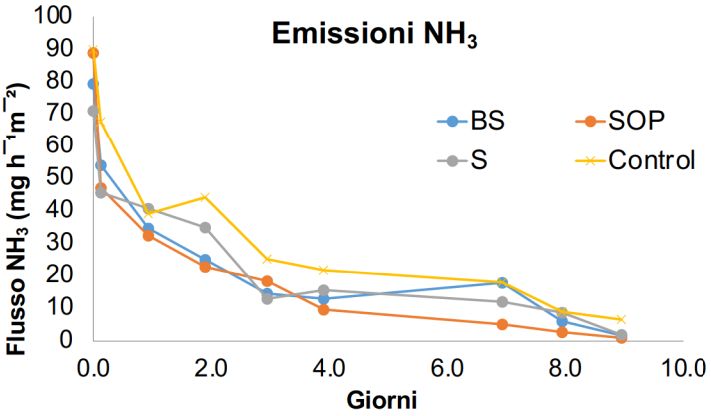
Media ± deviazione standard (3 repliche). Nessuna differenza significativa tra i trattamenti.

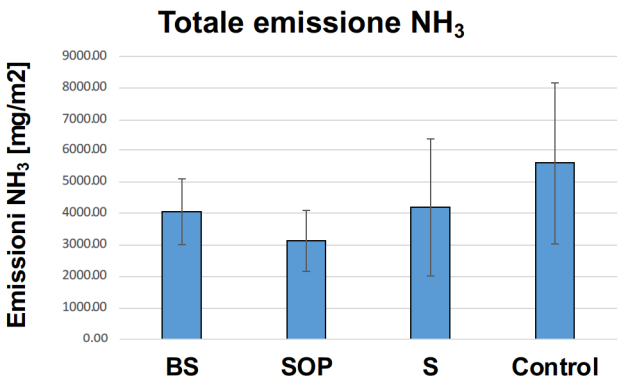
DISAFA UNIVERSITÀ DI TORINO REGIONE PIEMONTE

Risultati: azienda San Martino

Condizioni invernali

ST Letame: 23,7%





Trattamento	Riduzione
Bistar	27%
SOP	44%
Zolfo	25%

STREAL2

Caratteristiche chimico-fisiche del letame a inizio prova

Azienda	Stagione	SS (%)	SV (% SS)	pH	N totale (%)	$N\text{-}NH_4^+$ (%)
F.lli Di Francia	Estate	42,7	80,8	9,2	1,45	0,087
	Inverno	26,5	81,0	8,2	0,81	0,041
San Martino	Estate	23,3	85,6	8,8	0,71	0,050
	Inverno	23,7	86,9	8,4	0,79	0,160
Garelli	Inverno	33,6	77,5	9,0	1,12	0,003



Sostanza secca
dal 23 al 43%

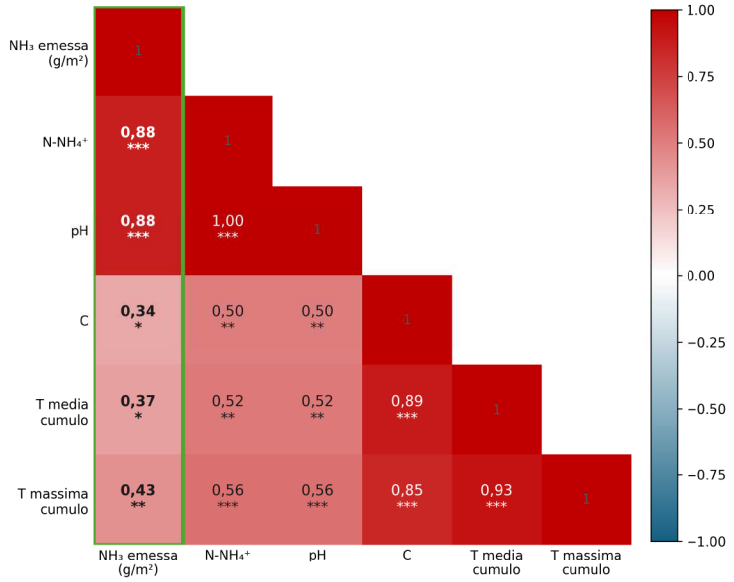
pH
sempre basico, 8,2–9,2

$N\text{-}NH_4^+$
da 0,003 a 0,16%

DISAFA UNIVERSITÀ DI TORINO REGIONE PIEMONTE

STREAL2

Correlazione tra le emissioni e i parametri del letame



- Le emissioni aumentano con l'ammonio e il pH
- Le caratteristiche chimico fisiche del letame influenzano le emissioni di ammoniaca

DISAFA UNIVERSITÀ DI TORINO REGIONE PIEMONTE

STREAL2

Caratteristiche strutturali dei letami ed emissioni

Prova	Temperatura media (°C)	N-NH_4^+ (%)	pH	NH_3 controllo (g/m^2)
San Martino – estate	≈ 40	0,050	8,8	2,3
Di Francia – estate	≈ 35	0,087	9,2	8,3
Di Francia – inverno	≈ 20	0,041	8,2	1,5
Garelli – inverno	≈ 15	0,003	9,0	0,2

Letame poroso



Di Francia - Estate



San Martino - Estate

Letame compatto



Di Francia - inverno

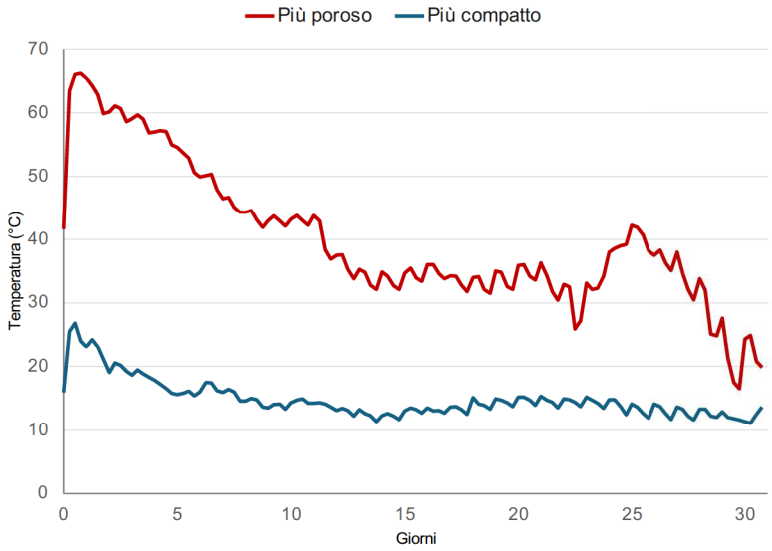


Garelli - inverno

DISAFA UNIVERSITÀ DI TORINO REGIONE PIEMONTE

STREAL2

Caratteristiche strutturali dei letami e temperatura del cumulo





Più compatto



Più poroso

DISAFA UNIVERSITÀ DI TORINO REGIONE PIEMONTE

CONCLUSIONI

- Potenziale efficacia nella riduzione delle emissioni
- Miglioramento della qualità del letame come fertilizzante
- Facilità di utilizzo
- Costi relativamente contenuti

(c.a. 0,05-0,16 €/capo/giorno)





CONCLUSIONI





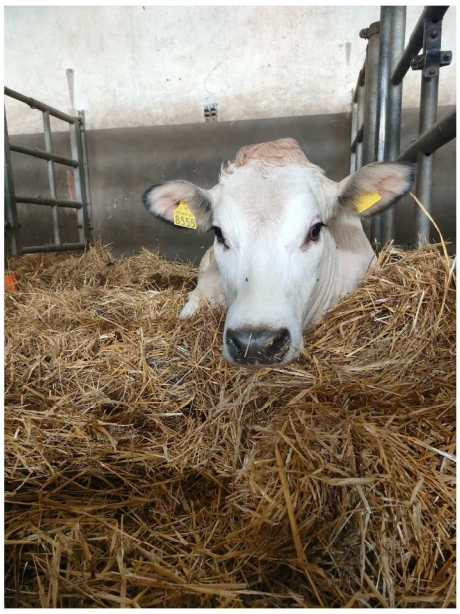
Limiti e Sfide:

- **Dipendenza dalle condizioni ambientali** (pH, umidità, rapporto C/N,..)
- **Possibile fase di adattamento microbico**
- **Efficacia limitata nel controllo dell'ammoniaca** rispetto ad altre strategie (es. additivi chimici, coperture)
- **Rischio di scambio di inquinanti (pollution swapping)**
- **Dati sperimentali ancora limitati**, necessarie ulteriori validazioni in condizioni reali e variabili

Complemento per lo Sviluppo Rurale della Regione Piemonte 2023-2027
SRG01 – Sostegno ai Gruppi Operativi PEI-AGRI

"A.R.I.A. – Allevamenti Resilienti e Innovativi per l'Ambiente"

(Strategie *innovative p*er ridurre l'impatto ambientale degli allevamenti bovini)



Grazie per l'attenzione!

Prof. Elio Dinuccio · Dott.ssa Marta Maria Gulinelli
Dipartimento di Scienze Agrarie, Forestali e Alimentari – Università di Torino
elio.dinuccio@unito.it