LEAP
Laboratorio Energia e Ambiente Piacenza

Smart Sensing in Zootecnia: modelli data-driven per il monitoraggio affidabile di NH3 e CH4 con sensori economici

Nell'ambito del progetto LivestAQsens (CUP: E37G22000420007), è stata sviluppata un'architettura algoritmica avanzata per il monitoraggio a basso costo delle emissioni di NH3 e CH4 negli allevamenti. Il sistema si basa su modelli data-driven e di machine learning progettati per elaborare i dati provenienti da array di sensori MOX sviluppati nel progetto. Gli algoritmi proprietari compensano in tempo reale le variabili ambientali, la deriva dei sensori e la cross-sensitivity (interferenze da gas non target). In questo modo, l'architettura software trasforma una sensoristica economica in uno strumento di misura robusto, accurato e affidabile, superando i limiti delle tradizionali soluzioni commerciali e abilitando applicazioni zootecniche reali.

"Dati affidabili a basso costo: il Machine Learning al servizio del monitoraggio zootecnico"

Laboratorio	LEAP
Area di specializzazione	Agroalimentare, Digitale, Salute e Benessere
Referenti	Senem Ozgen
Keyword	Machine Learning, Sensori low-cost, Monitoraggio NH3 e CH4, Allevamenti zootecnici

LIVESTAQSENS

Fig. 1: Logo del progetto LivestAQsens: Rete intelligente di sensori per il monitoraggio della qualità dell'aria con sistemi di calibrazione automatica

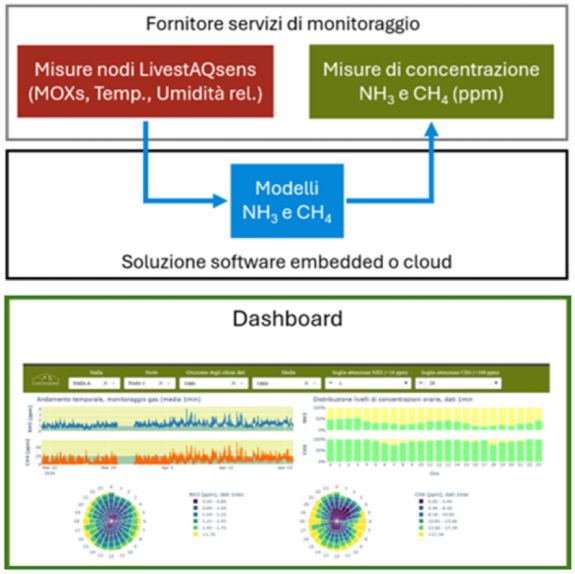


Fig. 2: Schema applicativo dei modelli, conversione misure "grezze" in misure di concentrazione, nel contesto del monitoraggio tramite i nodi LivestAQsens

Descrizione

Il prodotto è un'architettura software avanzata basata su algoritmi data-driven e machine learning, progettata per elevare l'accuratezza delle misure da sensori economici. La soluzione è rivolta a integratori di sistemi, fornitori di tecnologia e gestori di reti di monitoraggio che desiderano massimizzare l'affidabilità dei dati senza sostenere i costi di hardware ad alta gamma.
Inserito nella catena di acquisizione dati, il software elabora i segnali grezzi dell'array sensoristico. Attraverso modelli avanzati dedicati, la tecnologia è in grado di compensare automaticamente le variabili ambientali e la cross-sensitivity tra i gas, restituendo un dato finale robusto, stabile e accurato.
Concepita come un componente versatile e scalabile, la soluzione è progettata per integrarsi agevolmente nelle piattaforme dei fornitori di sistemi di monitoraggio. Per il futuro rilascio commerciale sono previsti due modelli di distribuzione basati su API dedicate:
• On-Premise (o Embedded): rilascio di un pacchetto software protetto e criptato da far girare direttamente sull'infrastruttura server o cloud del fornitore;
• Cloud SaaS (API as a Service): gestione del software su infrastruttura cloud propria, erogando il servizio di elaborazione e correzione dei dati in remoto via API.
Entrambi gli approcci garantiscono la massima tutela della proprietà intellettuale e assicurano la piena riservatezza dei dati trattati.

Aspetti innovativi

L'elemento innovativo della soluzione risiede nell'adozione di un approccio data-driven e machine learning applicato ad array di sensori MOX economici per il monitoraggio di NH3 e CH4. Rispetto alle metodologie di calibrazione convenzionali e all'uso di singoli sensori, il modello analizza simultaneamente la risposta combinata dell'intero array. Questo consente di sfruttare la complementarità dei sensori per mappare relazioni complesse tra segnali grezzi, concentrazioni dei gas e fluttuazioni delle condizioni ambientali.
Rispetto allo stato dell'arte, caratterizzato da costose apparecchiature di riferimento o da sensori economici inaffidabili in campo reale, la soluzione supera la principale criticità dei sensori MOX: la cross-sensitivity (interferenza da gas non target) e la deriva temporale, garantendo dati stabili e accurati.
A questo si aggiunge un'elevata trasferibilità soprattutto all'interno del comparto zootecnico: l'architettura algoritmica e la metodologia di compensazione sviluppata possono essere facilmente riadattate a differenti tipologie di allevamento, strutture di stabulazione o nuove combinazioni di gas target, senza la necessità di riprogettare il software di base.

Applicazioni

• **Zootecnia:** monitoraggio indoor e outdoor delle emissioni di NH3 e CH4 in allevamenti (bovini, avicoli, suini) e controllo della ventilazione negli ambienti di allevamento per il benessere animale e la sostenibilità.
• **Agro-industria e Biogas:** monitoraggio e controllo di emissioni diffuse in impianti di stoccaggio effluenti o digestati.
• **Estendibilità:** l'approccio può essere esteso a sistemi di monitoraggio e piattaforme IoT che utilizzano sensori low-cost per la misura anche di altri gas target e parametri ambientali.

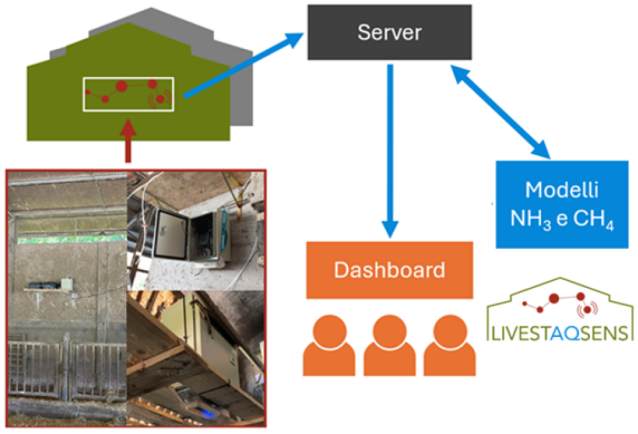


Fig. 3: Flusso di monitoraggio LivestAQsens (demo in stalla): acquisizione dai nodi in stalla, elaborazione centralizzata con modelli ML per la correzione di NH3 e CH4 e visualizzazione su dashboard web

Partner coinvolti	LEAP – coordinatore e modellistica; CNR STEMS – sviluppo di nodi di monitoraggio con sensori MOX (rete LivestAQsens); PROAMBIENTE e CRPA – misure di riferimento per i target gas nelle campagne in campo; CABTERRA – azienda settore zootecnico ospitante; Labservice Analytica – principale stakeholder.
Tempi di realizzazione	2 mesi/persona per il deployment in produzione
Livello di maturità tecnologica	TRL 7 - prototipo dimostrativo in ambiente operativo
Valorizzazione applicazione	La valorizzazione prevede l'evoluzione del prototipo in un componente software commercializzabile sia come servizio cloud (**APIaaS**) sia tramite **licenza d'uso per installazione On-Premise**. Le attività strategiche includono la ricerca di partner industriali e fornitori di sistemi di monitoraggio interessati a integrare la tecnologia e l'algoritmo di correzione nelle proprie architetture B2B.

Esempio di applicazione

Applicazione per misura di metano e ammoniaca in allevamenti di bovini da latte e da carne

La tecnologia è stata sviluppata e validata su lungo termine in contesto operativo reale presso un'azienda di bovini da latte, e successivamente testata in un secondo allevamento di bovini da carne, monitorando NH3 e CH4 sia in ambiente indoor (stalla) sia outdoor. I modelli data-driven inclusi quelli basati sulle tecniche di Machine Learning, eseguiti direttamente dall'infrastruttura LEAP, hanno elaborato i dati grezzi acquisiti dagli array MOX nella rete di monitoraggio LivestAQsens. Il software ha compensato autonomamente le cross-sensitività e le interferenze microclimatiche, restituendo concentrazioni di gas accurate, rese fruibili tramite una dashboard prototipale. In termini di prestazioni, i test hanno evidenziato un'elevata capacità di generalizzazione: nel trasferimento all'allevamento di bovini da carne, l'accuratezza si è mantenuta ottimale sia nella misura di NH3 che di CH4, superando i limiti delle calibrazioni convenzionali. La dashboard ha permesso la visualizzazione in tempo reale dell'andamento temporale delle concentrazioni corrette dei loro livelli medi e di picco, nonché di altri indicatori di interesse e i dati meteorologici. Le prove hanno convalidato la fattibilità di un'agevole integrazione con architetture terze mediante la netta separazione tra acquisizione ed elaborazione, in vista della commercializzazione via soluzioni On-premise o APIaaS.

Laboratorio Energia e Ambiente Piacenza

LEAP

Laboratorio Energia e Ambiente Piacenza



LEAP è stato costituito nel maggio 2005 a Piacenza su iniziativa della Sede di Piacenza del Politecnico di Milano ed è uno dei laboratori della Rete Alta Tecnologia della Regione Emilia-Romagna. Racchiude tra i suoi soci eccellenze dal mondo universitario ed industriale e le principali istituzioni territoriali piacentine.
Obiettivi di LEAP sono la ricerca, l'erogazione di consulenze e servizi, l'esercizio di azioni di trasferimento tecnologico per industria ed enti pubblici. Svolge attività sperimentali e prove su impianti e sull'ambiente, organizza corsi di formazione ed iniziative di divulgazione scientifica.
Le attività LEAP sono distribuite su 4 aree di competenza: (i) Waste to Value – Materia ed Energia da rifiuti, residui e biomasse, (ii) Low Carbon Technologies – Tecnologie Energetiche e processi industriali a basse emissioni di CO_2, (iii) Smart Energy Systems – Energie rinnovabili ed Efficienza Energetica e (iv) Emissions & Air Quality – Emissioni Gassose, polveri e qualità dell'aria.
LEAP offre soluzioni flessibili e adattabili alle esigenze del cliente, senza perdere il rigore scientifico che mantiene a tutti i livelli. È coinvolto in progetti di ricerca nazionali e internazionali di alto rigore scientifico, come partner e come coordinatore. Allo stesso tempo, offre consulenze industriali in cui dominano l'innovazione, l'attenzione al contesto normativo e la capacità di interfacciarsi con soggetti diversi per natura, dimensione, cultura e vocazione.

Sito web	http://www.leap.polimi.it
Direttore	Marco Sciarmella
Data pubblicazione	22/10/2026