



MISURA 16 – “COOPERAZIONE” - SOTTOMISURA 16.1

“Sostegno per la costituzione e la gestione dei Gruppi Operativi del PEI in materia di produttività e sostenibilità dell’agricoltura”

OPERAZIONE 16.1.01 – “Gruppi Operativi PEI”

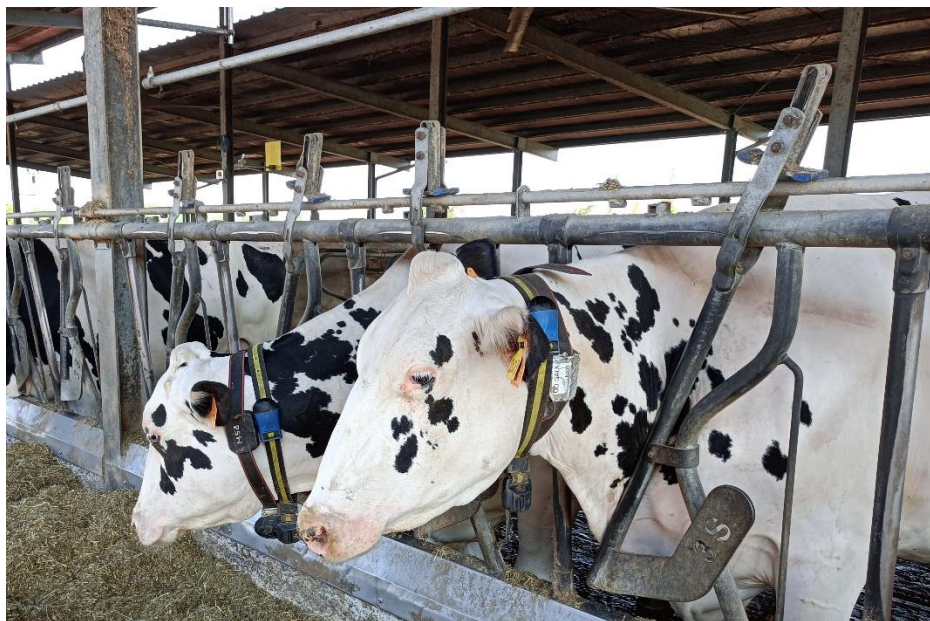
Focus area - 2A

Progetto

**Sistema di Gestione integrata dell’Ambiente nelle stalle da LATte per migliorare il benessere e la produttività delle bovine – GALA**



Relazione finale del progetto



Responsabile scientifico: prof. Giorgio Provolo

Partners

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO – DISAA, MILANO

CEKFARM S.S. AGRICOLA, Camisano (CR)

SOCIETA' AGRICOLA EREDI MERIGO ANGELO DI MERIGO GIAN LUIGI E C. S.S., Capralba (CR)

SOCIETA' AGRICOLA BERTICELLI LUIGI S.S., Vailate (CR)

ASSOCIAZIONE REGIONALE ALLEVATORI DELLA LOMBARDIA, Crema (CR)

Febbraio 2023

## Sommario

Premessa .....	3
Attività svolta.....	3
Sottoprogetto coordinamento .....	3
Sottoprogetto innovazione.....	4
Progettazione e realizzazione dei prototipi di sistema integrato.....	4
Installazione del sistema integrato nelle tre aziende.....	7
La raccolta e visualizzazione dei dati tramite dashboard.....	10
Funzionamento del sistema integrato.....	13
Valutazione tecnico-economica del prototipo nelle tre stalle .....	15
Criticità e attività complementari.....	17
Sottoprogetto trasferimento dei risultati.....	19
Tempi di svolgimento del progetto, comunicazioni e richieste di variazione inviate alla Regione	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
Nota sulla rendicontazione finanziaria.....	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
Indicatori di risultato delle attività di progetto .....	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>

## Premessa

Il progetto GALA si è posto l'obiettivo di realizzare un sistema di gestione dell'ambiente di stabulazione nelle stalle da latte integrando le diverse informazioni (microclimatiche, non climatiche, comportamentali, produttive, alimentari, gestionali) in modo da fornire: elementi per il controllo automatico di alcuni dispositivi, segnalazione all'allevatore di situazioni anomale o che richiedono il suo intervento, monitoraggio dei parametri ambientali all'interno della stalla, indicazioni per ottimizzare la gestione per migliorare le condizioni ambientali.

La motivazione di questo progetto deriva dalla esigenza di mantenere competitivi gli allevamenti lombardi nell'ambito del mercato internazionale del latte e delle materie prime. Questo richiede il conseguimento di elevati standard di efficienza e di qualità nelle varie fasi del processo produttivo che si svolge nella stalla.

Le attività del progetto sono iniziate il 1 settembre 2019 e hanno coinvolto il partenariato costituito dall'Università degli Studi di Milano – Dipartimento di Scienze Agrarie e Ambientali (coordinatore), da tre aziende zootecniche di bovini da latte dove è stato realizzato il progetto e dall'Associazione Regionale degli Allevatori della Lombardia che ha supportato il trasferimento delle informazioni.

Le attività del progetto sono iniziate regolarmente e la progettazione del sistema integrato è proseguita, anche se con qualche rallentamento, anche nel periodo di pandemia. L'installazione delle diverse componenti del sistema integrato è stata effettuata da giugno a settembre 2021 nelle tre stalle delle aziende partner. Il funzionamento del sistema ha consentito di raccogliere dati dalle stalle e dalle bovine fino alla fine di settembre 2022 ma il sistema è rimasto in funzione fino al termine del progetto che è stata prorogata alla fine di febbraio del 2023.

Questa relazione è organizzata in una descrizione sintetica delle attività svolte e in una serie di allegati che ne approfondiscono i contenuti.

## Attività svolta

### Sottoprogetto coordinamento

Il gruppo operativo è costituito da un numero limitato di partner che ha operato in sinergia con continuità.

Dopo una prima riunione in presenza all'avvio del progetto, il partenariato si è mantenuto aggiornato e in contatto principalmente attraverso conversazioni telefoniche e scambi di email durante il periodo di progettazione e realizzazione dei prototipi. L'interazione è stata successivamente diretta e intensa in tutto il periodo di installazione e funzionamento del sistema con presenza settimanale in azienda di operatori dell'Università e interazione con i tecnici di Aral per la raccolta dati con cadenza quindicinale.

Questa modalità di coordinamento delle attività che ha visto anche riunioni periodiche di tutti i partner per condividere i risultati ottenuti e le indicazioni per il miglioramento del sistema.

Da evidenziare, nel contesto delle attività di coordinamento, l'interazione con la società che ha progettato e collaborato all'installazione e messa a punto dei tre prototipi nelle aziende, con interazione diretta sia con l'Università, sia con gli allevatori nelle loro stalle.

Per quanto riguarda l'interazione con la Rete Rurale, la situazione sanitaria del periodo ha limitato le interazioni che si sono limitate alla partecipazione ad alcuni eventi e iniziative organizzati dalla Rete Rurale e in particolare:

- "L'approccio interattivo per l'innovazione: l'esperienza dei GO" 24/11/2020 (on line)

- Rete Rurale Nazionale - Scheda Innovazione 25.1, "Diffusione della conoscenza e adozione dell'innovazione: il ruolo della consulenza" – Webinar del 25/02/2021
- Webinar "La digitalizzazione come strumento per la conoscenza e l'innovazione in agricoltura" – martedì 30 marzo 2021
- NETWORKING DEI GRUPPI OPERATIVI DEL PEI AGRICOLTURA "Il benessere e la sostenibilità dell'allevamento bovino" 27/11/2021 – Fiere Zootecniche Internazionali Cremona (in presenza)
- Sondaggio sulla Rete Rurale tra gli stakeholders (maggio 2022)
- Indagine sui Gruppi Operativi del PEI AGRICOLTURA (marzo 2021)
- Compilazione del Questionario RRN ai Gruppi Operativi del PEI AGRICOLTURA (settembre-ottobre 2020).
- Il 9/11/2020 sono state pubblicate le informazioni del progetto nelle banche dati dell'EIP-AGRICOLTURA della Commissione Europea e di Innovarurale della Rete Rurale Nazionale.

## Sottoprogetto innovazione

### Progettazione e realizzazione dei prototipi di sistema integrato

Il progetto ha previsto lo sviluppo, la realizzazione e l'installazione di un sistema integrato per la raccolta dati dalla stalla. I principali dati che vengono raccolti nella zona di stabulazione sono:

- le condizioni microclimatiche (temperatura, umidità, velocità dell'aria, illuminamento) in diversi punti della stalla e all'esterno della stalla
- la qualità dell'ambiente, intesa come concentrazione di alcuni gas (ammoniaca, acido solfidrico, anidride carbonica), livello sonoro delle diverse zone della stalla
- la temperatura e l'umidità del materiale di lettiera (se presente) delle cuccette
- i consumi idrici e la temperatura dell'acqua negli abbeveratoi
- la presenza di mosche

Questi dati sono integrati con un sistema di rilievo del comportamento delle bovine, basato su un sensore accelerometrico montato al collo delle bovine che consente di individuare le azioni delle bovine e la ruminazione.

Inoltre, in ogni stalla è stato installato anche un sistema di videoregistrazione per verificare in tempo reale o in differita, il comportamento degli animali e le eventuali situazioni anomale. Per verificare le condizioni climatiche locali all'esterno della struttura monitorata, sono state installate delle stazioni meteorologiche che inviano i dati allo stesso sistema di raccolta.

Come detto, l'aspetto più innovativo di questo progetto è l'integrazione dei diversi parametri. La possibilità di disporre dei dati in un unico ambiente consente infatti di migliorare la qualità delle informazioni disponibili e ottenere delle valutazioni della situazione della stalla che possono consentire di meglio comprendere gli andamenti e le situazioni del gruppo di animali e individuare i singoli comportamenti anomali.

Ogni sensore è collegato a un microprocessore e costituisce un nodo della rete di raccolta dati. Ogni nodo provvede a interrogare il sensore specifico ottenendone i parametri richiesti ed effettua una prima elaborazione dei dati. A intervalli di tempo prefissati programmabili (attualmente ogni 10 minuti) il nodo invia via radio i dati a una centralina posta in stalla che a sua volta li invia a un server su internet che provvede ad organizzarli in una banca dati e renderli disponibili all'allevatore tramite una interfaccia web accessibile sia da computer o da smartphone.

Lo schema del sistema realizzato nelle tre stalle è riportato in Figura 1. Il dettaglio della progettazione e realizzazione del sistema integrato è riportato nei seguenti allegati:

- **relazione di progetto del prototipo (allegato A)**
- **documento con le specifiche dei sensori, hardware e software del prototipo (Allegato B)**
- **documento di verifica del funzionamento in laboratorio del prototipo (Allegato C)**
- **specifiche del software di elaborazione dei dati (Allegato D)**

La trasmissione dei dati via radio consente di evitare il cablaggio dei diversi nodi che pertanto funzionano quasi tutti con batterie. Solo i sensori della qualità dell'aria che hanno un assorbimento di corrente elevato hanno richiesto una alimentazione dedicata. Anche la rete di telecamere che è stata installata per la videosorveglianza degli animali e per la verifica della presenza di mosche mediante analisi dell'immagine sono state necessariamente collegate all'unità di raccolta dati nella stalla.

La scelta di sviluppare ex-novo il sistema di raccolta dati è stata dettata da due esigenze: la prima è quella di avere il pieno controllo del dato raccolto, nella sua forma più grezza e definire le modalità con cui elaborarlo; la seconda è di garantire la compatibilità del protocollo di trasmissione dati tra i diversi sensori presenti nella stalla.

Per quanto riguarda il primo aspetto, una peculiarità del sistema sviluppato è quella di poter esaminare i dati provenienti da un singolo nodo attraverso un'applicazione installata su smartphone. Questa funzionalità non ha un interesse diretto per l'utilizzo del sistema da parte dell'allevatore, ma risulta essenziale sia per la verifica del funzionamento dei sensori (ed eventualmente l'aggiornamento del software integrato nel nodo), sia per la messa a punto degli algoritmi da utilizzare per la prima elaborazione dei dati (che avviene nel nodo stesso). Infatti, specialmente per l'interpretazione dei dati degli accelerometri si è resa necessaria una analisi dei dati grezzi rilevati e la loro correlazione con il movimento delle bovine.

A questo scopo sono state monitorate diverse bovine seguendone visivamente il comportamento durante la giornata e contemporaneamente registrando i dati inviati ad alta frequenza (fino a 100 dati al secondo) dall'accelerometro allo smartphone dell'operatore.

I tracciati che sono stati ottenuti hanno consentito di identificare le caratteristiche del movimento dell'animale nei diversi comportamenti e grazie ad opportune elaborazioni basate su meccanismi di intelligenza artificiale ottenere gli algoritmi da implementare nel software installato nel singolo accelerometro (Figura 2).

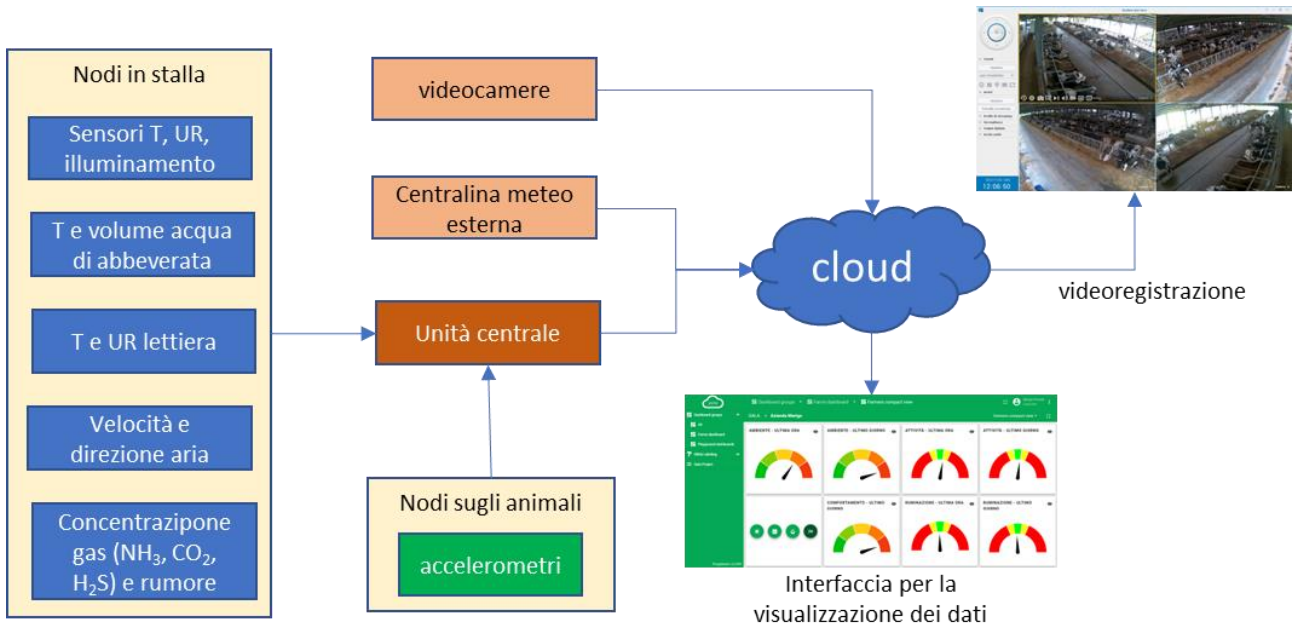


Figura 1 – Schema del sistema integrato GALA



Figura 2 – Esempio di tracciato dell'accelerazione sui tre assi (in alto a sinistra) ottenuto tramite la registrazione dei dati tramite telefono e apposita app (a destra) con la quale è possibile indicare il comportamento della bovina monitorata (a sinistra in basso).



## Installazione del sistema integrato nelle tre aziende

A seguito di sopralluoghi nelle tre aziende con il supporto della società che ha vinto la gara per la realizzazione del sistema (IBT Systems, Monza-MB), è stata progettata l'installazione dei diversi sensori.

Lo schema dell'installazione nelle tre stalle è riportato rispettivamente in Figura 3, Figura 4 e Figura 5. Un esempio dei sensori installati è visibile nella Figura 6.

L'installazione degli accelerometri è stata effettuata mediante collari commerciali sui quali sono stati montati gli accelerometri. Il contenitore utilizzato (Figura 7) non è stato specificatamente realizzato e quindi per il montaggio, i contenitori sono stati fissati al collare con dei bulloni. Inizialmente per aumentare la resistenza del fissaggio ed evitare il contatto diretto con l'animale è stato utilizzato un rivestimento di nastro telato. Successivamente questo è stato sostituito con un tubo di plastica termorestringente che ha consentito di creare una copertura morbida ma resistente. Inoltre, l'accelerometro è stato posto a contatto con il collo dell'animale in modo che le viti di fissaggio del contenitore non interagissero direttamente con l'animale (Figura 8).

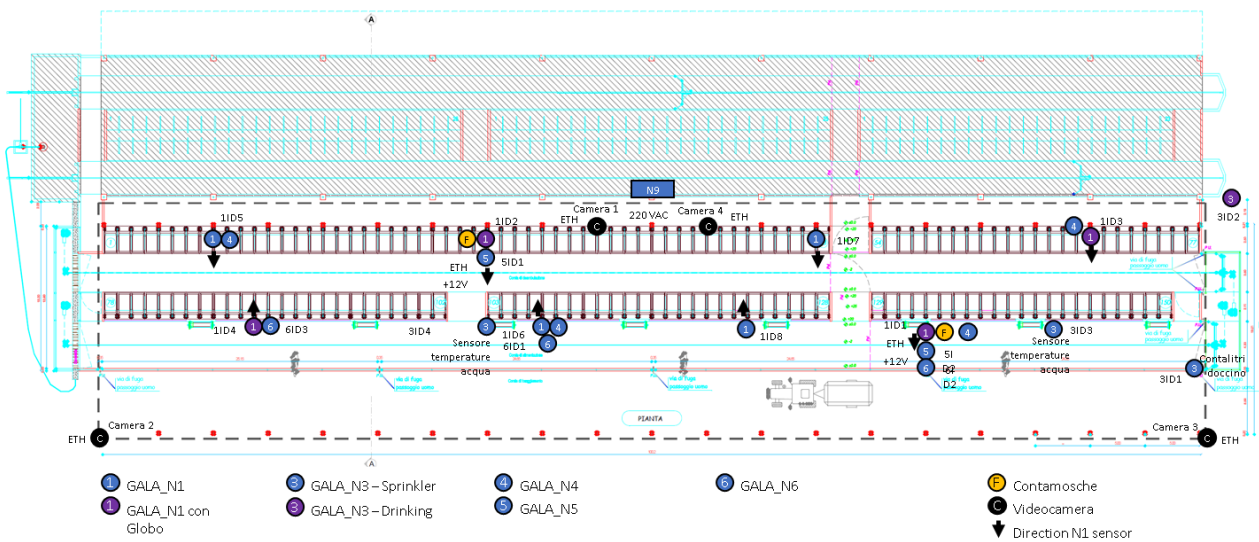


Figura 3 - Schema dell'installazione presso Cekfarm S.S. Agricola dei diversi sensori. N1: temperatura, umidità e illuminamento; N1 con Globo: come N1 con Globotermometro; N3: contatore di acqua; N4: umidità e temperatura della lettiera; N5: concentrazione NH3, CO2, H2S e pressione sonora; N6 velocità dell'aria.

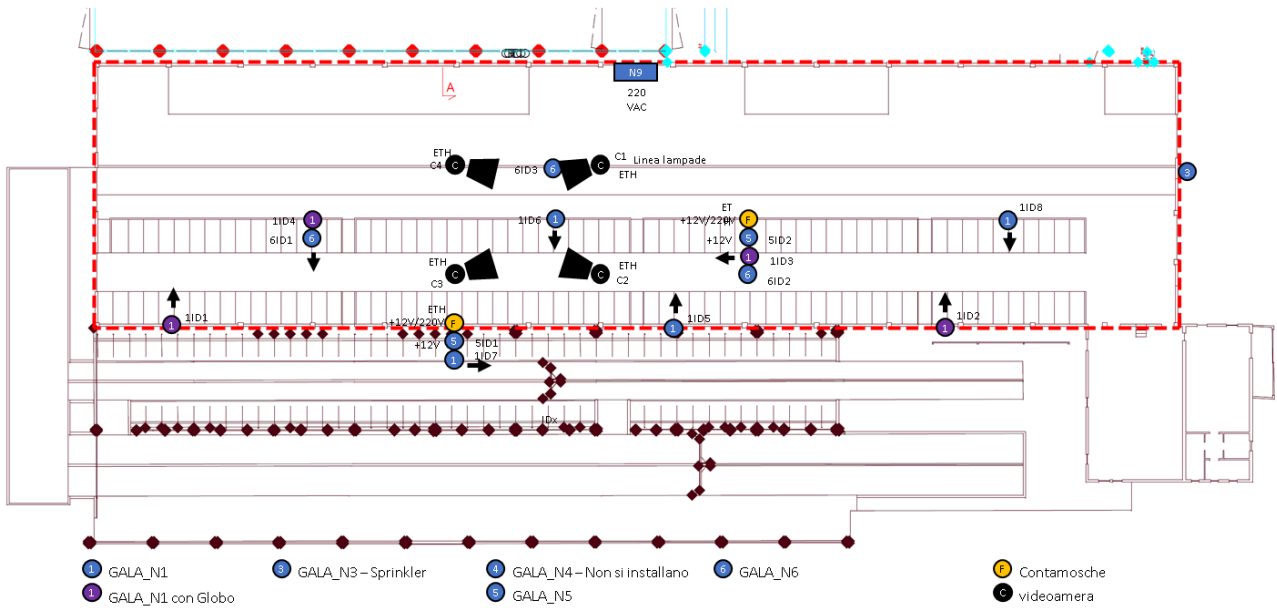


Figura 4 - Schema dell'installazione presso Società Agricola Berticelli Luigi S.S. dei diversi sensori. N1: temperatura, umidità e illuminamento; N1 con Globo: come N1 con Globotermometro; N3: contatore di acqua; N4: umidità e temperatura della lettiera; N5: concentrazione NH3, CO2, H2S e pressione sonora; N6 velocità dell'aria.

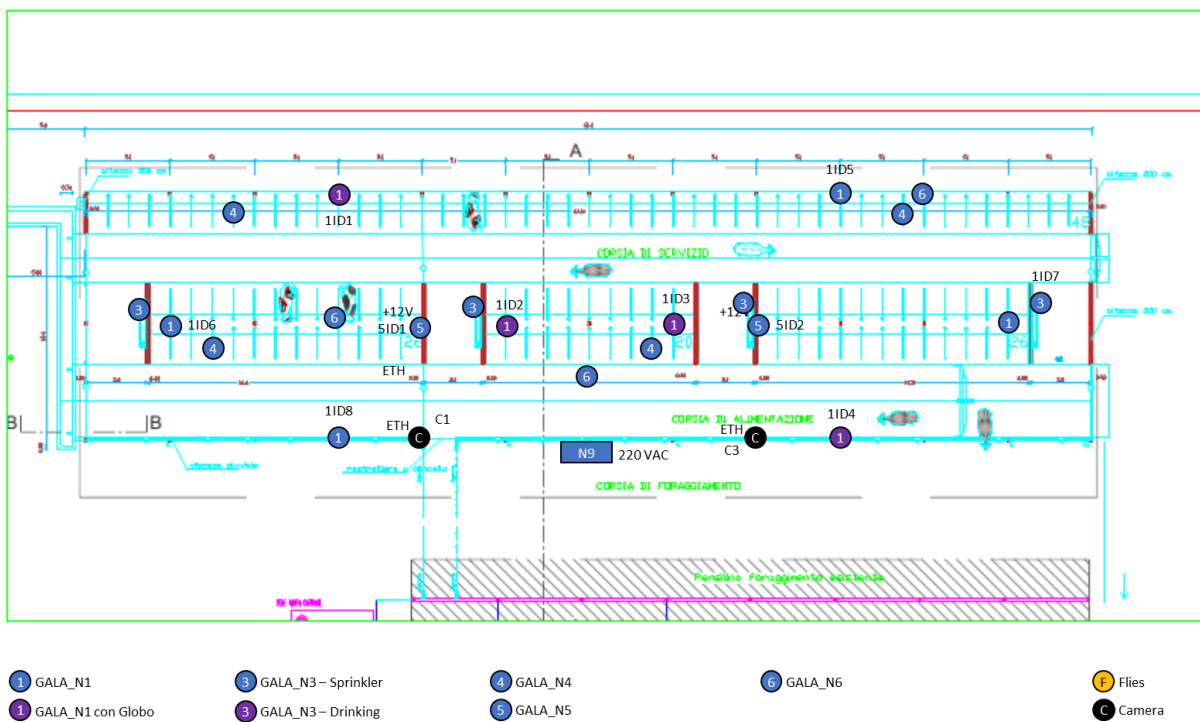


Figura 5 -. Schema dell'installazione presso Cascina S. Francesco (Merigo) dei diversi sensori. N1: temperatura, umidità e illuminamento; N1 con Globo: come N1 con Globotermometro; N3: contatore di acqua; N4: umidità e temperatura della lettiera; N5: concentrazione NH3, CO2, H2S e pressione sonora; N6 velocità dell'aria.



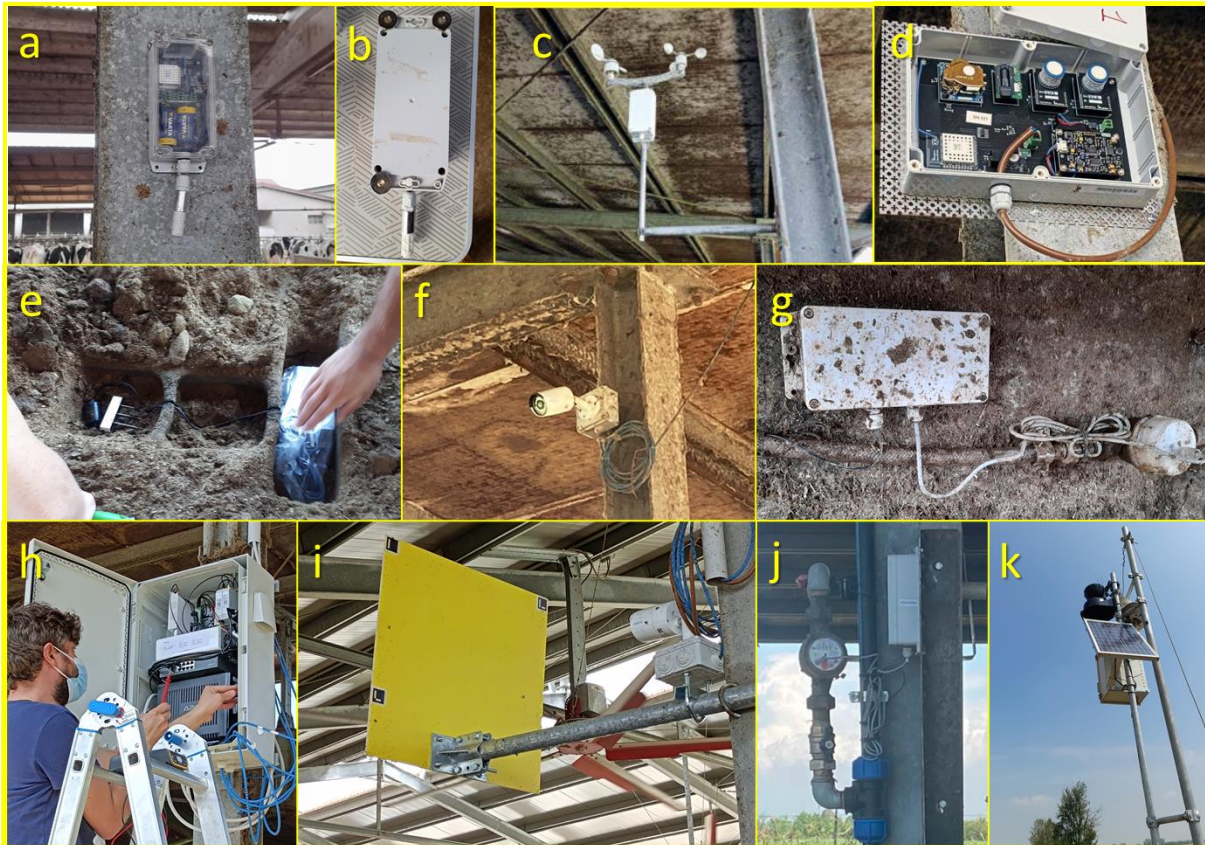


Figura 6 - Esempio di installazione dei sensori. a: sensore N1 (temperatura, umidità e illuminamento), b: retro del sensore N1 con magneti, c: sensore N6 (velocità dell'aria), d: sensore N5 (concentrazione NH<sub>3</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S e pressione sonora) aperto, e: sensore N4 (umidità e temperatura della lettiera), f: telecamera, g: sensore N3 (per acqua di abbeverata), h: centralina aziendale (aperto), i: conta mosche, j: sensore N3 (contatore acqua di raffreddamento), k: stazione meteorologica esterna.



Figura 7 - Contenitore con il dispositivo accelerometrico sviluppato dal progetto. A sinistra contenitore aperto, a destra installato sul collare.



*Figura 8 - I sensori N2 montati sulle vacche. A sinistra: una vacca che indossa un sensore con la protezione originale che consisteva in diversi strati di nastro adesivo e un'etichetta bianca per identificare il numero del sensore. Al centro: protezione successiva, realizzata in gomma riscaldata per adattarsi perfettamente alla scatola del sensore. I numeri erano scritti sulla gomma con un pennarello bianco. A destra: una vacca che indossa un sensore con protezione in gomma, oltre a un sensore commerciale.*

La descrizione dettagliata dell'installazione nelle tre stalle è riportata in **allegato E – Installazione e collaudo del prototipo**.

L'installazione si è svolta regolarmente nelle tre aziende con alcune differenze legate alla condizione specifica dell'azienda. In particolare:

- nell'azienda Berticelli non sono stati installati i sensori per la misura della temperatura e umidità della lettiera perché utilizza cuccette a fondo pieno. Inoltre, in questa azienda non è stato possibile misurare l'acqua di abbeverata in quanto le tubazioni sono collegate ad anello per tutte le strutture e di conseguenza non era fattibile il monitoraggio del gruppo di bovine individuato.
- Il previsto interfacciamento con il sistema di controllo dei ventilatori e dei raschiatori non è stato effettuato a causa di difficoltà tecniche e di intervento su dispositivi di controllo di terzi.
- Il sistema di individuazione della presenza delle bovine in mangiatoria non è stato implementato nelle aziende, ma è stato installato un sistema di individuazione della posizione delle bovine in una porzione della stalla dell'azienda Merigo, riportato più avanti nelle attività complementari.

#### La raccolta e visualizzazione dei dati tramite dashboard

I prototipi installati nelle tre aziende hanno consentito di raccogliere dati dalle stalle e a dagli animali da giugno 2021. Le elaborazioni effettuate si riferiscono al periodo tra giugno 2021 e settembre 2022, data in cui sono stati consolidati ed analizzati i dati.

Per le tre aziende sono stati raccolti dati per più di un anno con una buona continuità. Ci sono state interruzioni nelle singole stalle per motivi tecnici dovuti a interruzioni di corrente o blocco del collegamento internet e alcuni sensori hanno richiesto manutenzione e in alcuni casi sostituzione. Nel periodo tra gennaio e marzo 2022 è stata effettuata una manutenzione straordinaria dei sensori per la temperatura, umidità e illuminamento necessaria per sostituire il sensore di umidità che non aveva dato buoni riscontri quando esposto ad umidità elevate e per aggiornare il firmware del sistema.

Le informazioni riguardanti la situazione della stalla e lo stato delle bovine possono essere visualizzate attraverso la dashboard predisposta, accessibile con dispositivi fissi e mobili mediante un browser (Figura 12).

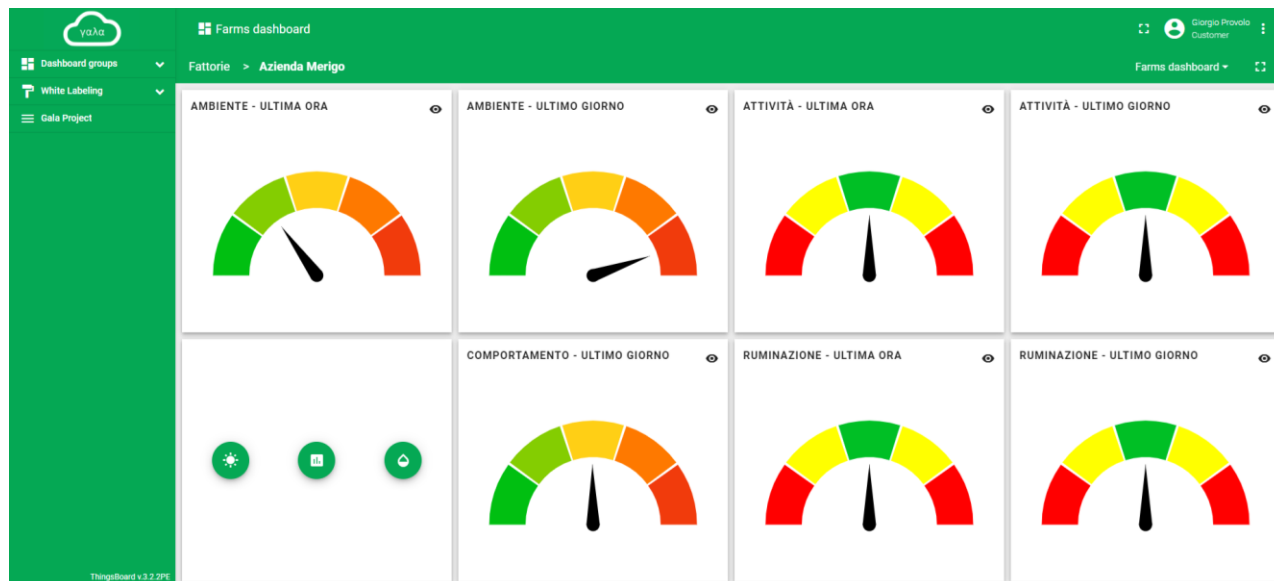


Figura 9 – Schermata iniziale della dashboard per la visualizzazione dei dati aziendali relativi all’ambiente di stabulazione e lo stato delle bovine.

La schermata iniziale ha la finalità di fornire un quadro di sintesi della situazione della stalla evidenziando immediatamente gli aspetti che richiedono attenzione.

È poi possibile approfondire le motivazioni della segnalazione visualizzando i dati che hanno portato alla indicazione. A esempio, in Figura 10 è riportato un esempio di dati che portano a una segnalazione di stato dell’ambiente che richiede attenzione. Questo può riguardare diverse condizioni a seconda del periodo dell’anno e della situazione specifica. Nell’esempio è evidenziata l’esigenza di intervenire aumentando la ventilazione per ridurre l’umidità dell’aria e la concentrazione di anidride carbonica.

La dashboard consente anche una analisi dei dati comportamentali delle bovine che possono indicare situazioni anomale a livello di stalla o di singolo animale. A esempio, in Figura 11 è riportata l’analisi per un periodo di una settimana del comportamento medio della mandria. Sono chiaramente visibili i periodi della giornata in cui gli animali si stanno alimentando, a scapito del riposo. La frazione di tempo in cui gli animali rimangono in piedi risulta invece piuttosto costante nell’arco della giornata.

La dashboard ha numerose altre funzionalità che sono descritte nell’allegato D, come la possibilità di analizzare in maggior dettaglio il comportamento dei singoli animali o di analizzare l’andamento dei parametri rilevati valutando il singolo sensore all’interno della stalla.

La dashboard consente anche l’esportazione dei dati visualizzati in formato excel, mediante un’apposita funzione. In questo modo è possibile creare una banca dati delle informazioni raccolte.

Inoltre, il sistema consente uno scarico del database su cloud che comprende tutte le informazioni memorizzate ad intervalli di 10 minuti di tutti i parametri rilevati. Questo metodo è quello che è stato utilizzato per l’elaborazione dei dati per il periodo di rilievo nelle tre stalle.



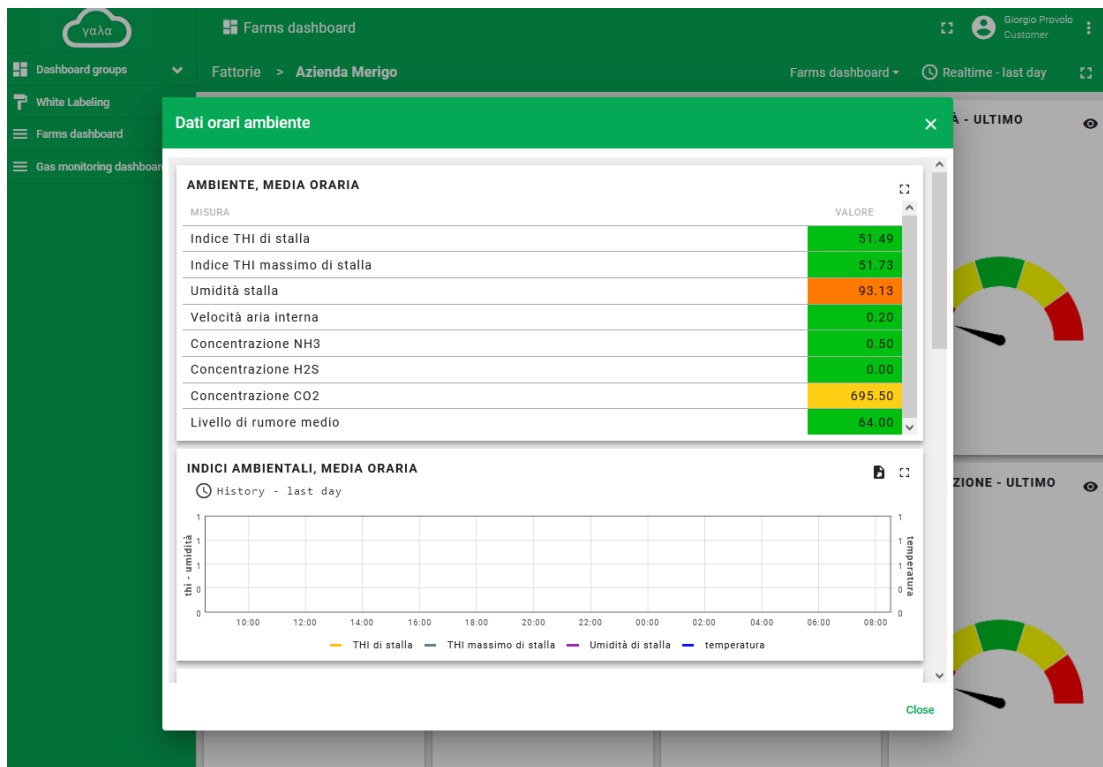


Figura 10 – Dettaglio dei dati ambientali che portano a una segnalazione di attenzione all'allevatore. Nel caso specifico umidità e concentrazione di anidride carbonica elevate, che indicano l'esigenza di aumentare la ventilazione.

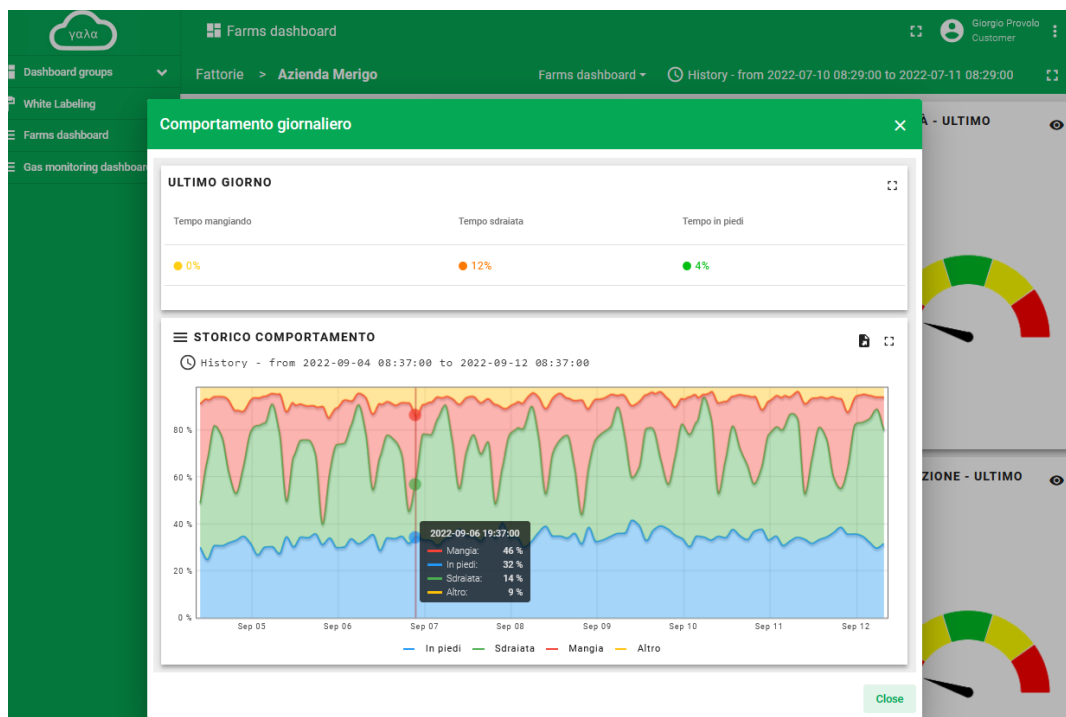


Figura 11 – Valutazione del comportamento medio delle bovine in allevamento disaggregato nelle principali attività (alimentazione, riposo, in piedi, altre attività).

## Funzionamento del sistema integrato

Una descrizione dettagliata dei risultati ottenuti è riportata nell'**allegato F - funzionalità del prototipo nelle tre stalle**. La Figura 12 riporta un esempio dell'andamento delle temperature medie giornaliere interne delle tre stalle (media di 8 punti di misura). L'elevato numero di punti di misura utilizzati ha consentito di evidenziare le differenze all'interno delle stalle, in alcuni casi con valori superiori a 1°C rispetto al valore medio di stalla (Figura 13). Tali differenze possono comportare una risposta degli animali che tendono a utilizzare le zone più confortevoli con la conseguente sottoutilizzazione degli spazi.

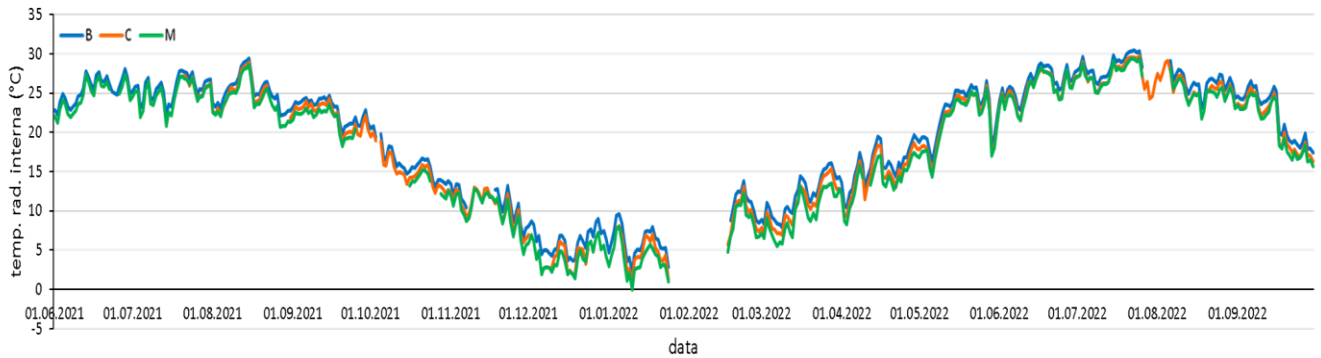


Figura 12 - Medie giornaliere della temperatura radiante nella stalla, basate sui valori dei 4 clima sensori (N1) con un globotermometro nero. B = Berticelli, C = Cecchinato, M = Merigo.

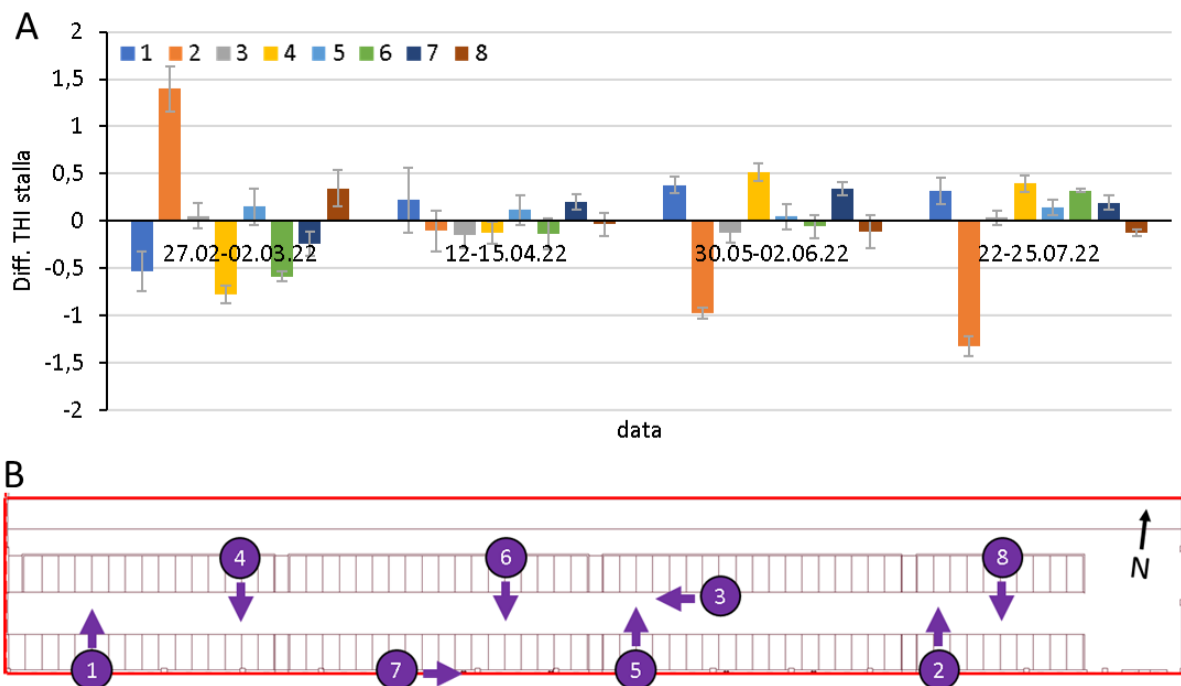


Figura 13 – A) medie e deviazione standard dell'Indice di Temperatura-Umidità (THI) dai singoli sensori nella stalla di Berticelli sulla base di 4 giorni di 4 periodi dell'anno. I valori sono espressi come differenze dalla media di tutti i sensori. B) Scheda della posizione dei sensori e del loro orientamento nella stalla.

I risultati ottenuti hanno anche consentito di evidenziare il differente comportamento dal punto di vista microclimatico delle tre strutture. A esempio, in Figura 14 sono riportati gli andamenti medi orari del THI (Temperature-Humidity index) del periodo primaverile e del periodo estivo per le tre stalle. Si può notare

come la stalla dell'azienda Berticelli (B) evidenzia una maggiore inerzia termica della struttura garantendo valori inferiori rispetto alle altre stalle nelle ore calde della giornata.

Una indicazione operativa che emerge dall'analisi dei dati raccolti riguarda la relazione tra velocità dell'aria all'interno della stalla e concentrazione di gas. La Figura 15 mette in evidenza come la ventilazione artificiale sia in grado di contenere le concentrazioni di anidride carbonica a valori sotto i 600 ppm nella maggior parte delle giornate riportate. In un caso, nelle ore notturne si verifica un incremento notevole delle concentrazioni che potrebbe essere compensato da un aumento della ventilazione.

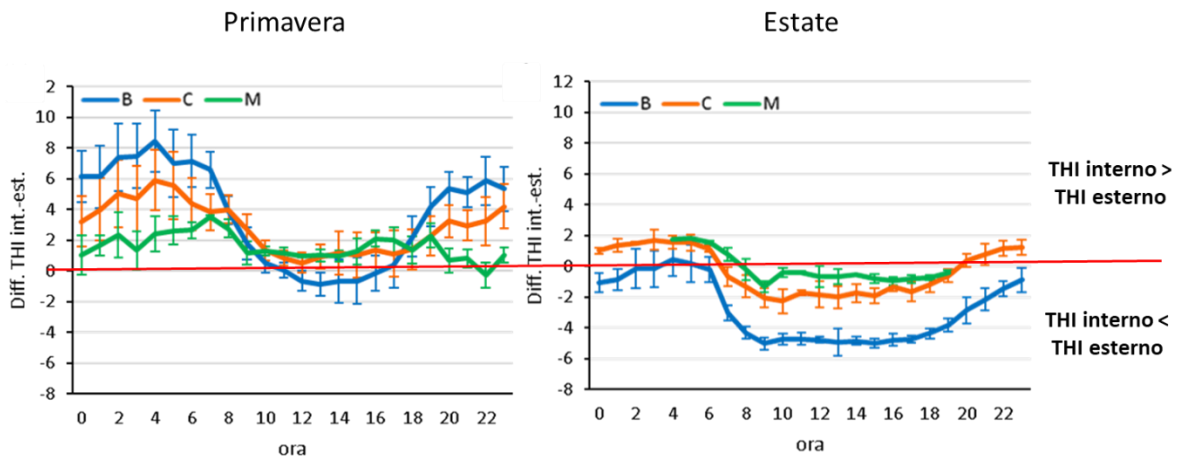


Figura 14 – Andamento medio orario della differenza tra il THI interno ed esterno nelle tre stalle in primavera e in estate.

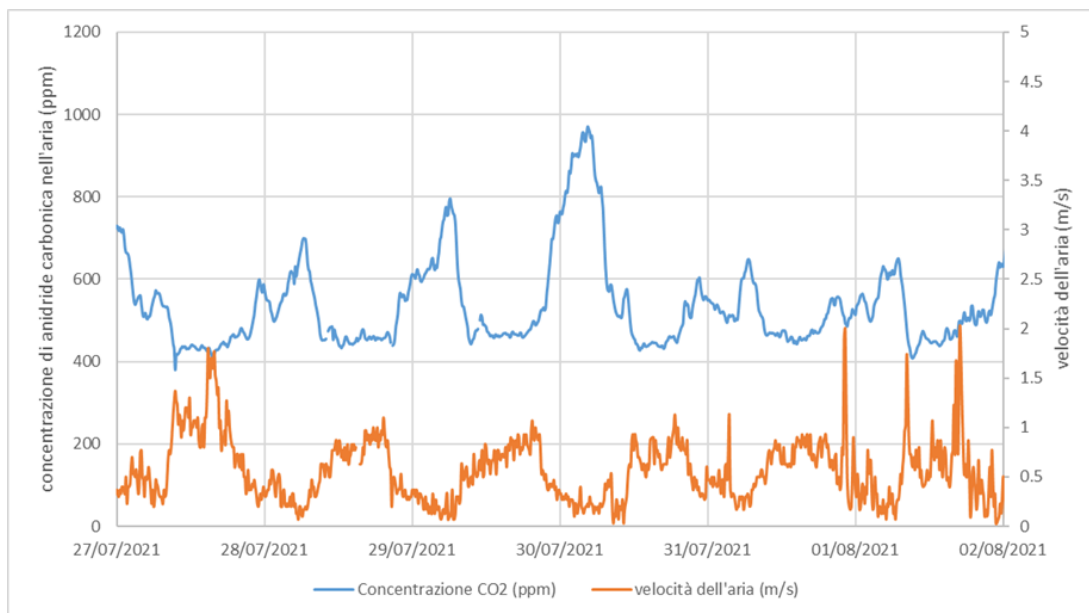


Figura 15 – Comparazione tra la concentrazione di anidride carbonica e della velocità dell'aria in alcuni giorni estivi nella stalla dell'azienda Merigo.

Anche il comportamento delle bovine ha consentito di fornire interessanti indicazioni a livello aziendale. A esempio, la Figura 16 mostra l'andamento medio di stalla del tempo trascorso dalle bovine in posizione



sdraiata (riposo) rilevato dagli accelerometri. Si possono notare alcune differenze nelle tre stalle nei diversi periodi dell'anno e una diminuzione del tempo a riposo nel periodo caldo, seppure con diverse risposte degli animali nelle tre stalle.

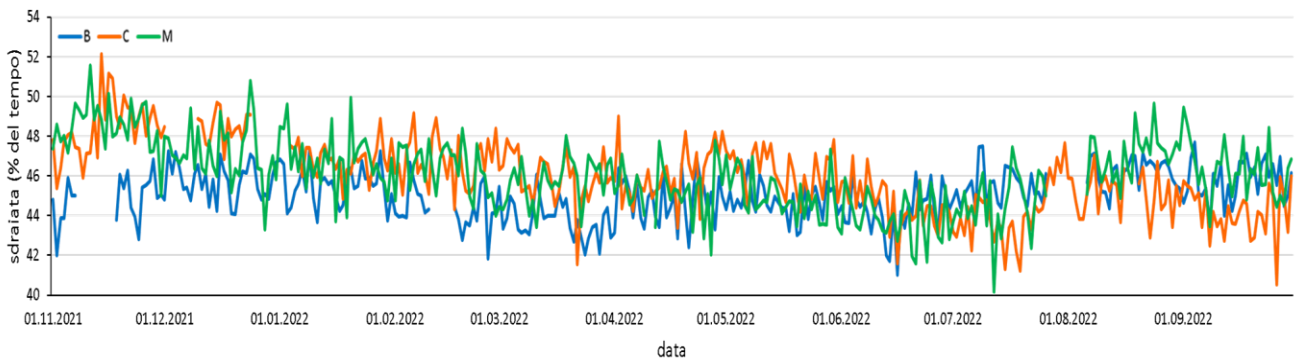


Figura 16 - Percentuale di tempo trascorso sdraiato al giorno (media delle 60 singole vacche con collare) per i 3 allevamenti. B = Berticelli, C = Cecchinato, M = Merigo.

#### Valutazione tecnico-economica del prototipo nelle tre stalle

Il prototipo sviluppato e installato nelle tre stalle ha dimostrato la possibilità di utilizzare un sistema integrato di raccolta delle informazioni relative alla zona di stabulazione e del comportamento delle bovine.

Le informazioni raccolte possono fornire all'allevatore diverse informazioni utili alla gestione. Alcune di queste sono legate al comportamento delle bovine in relazione alle condizioni microclimatiche. A esempio, in Figura 17 sono riportati gli andamenti del tempo trascorso in piedi e quello in ruminazione in relazione al valore di THI medio giornaliero. Si possono notare non solo le differenze tra le stalle, ma anche le differenze pendenze delle rette interpolanti che evidenziano una maggiore o minore sensibilità della mandria al variare delle condizioni microclimatiche.

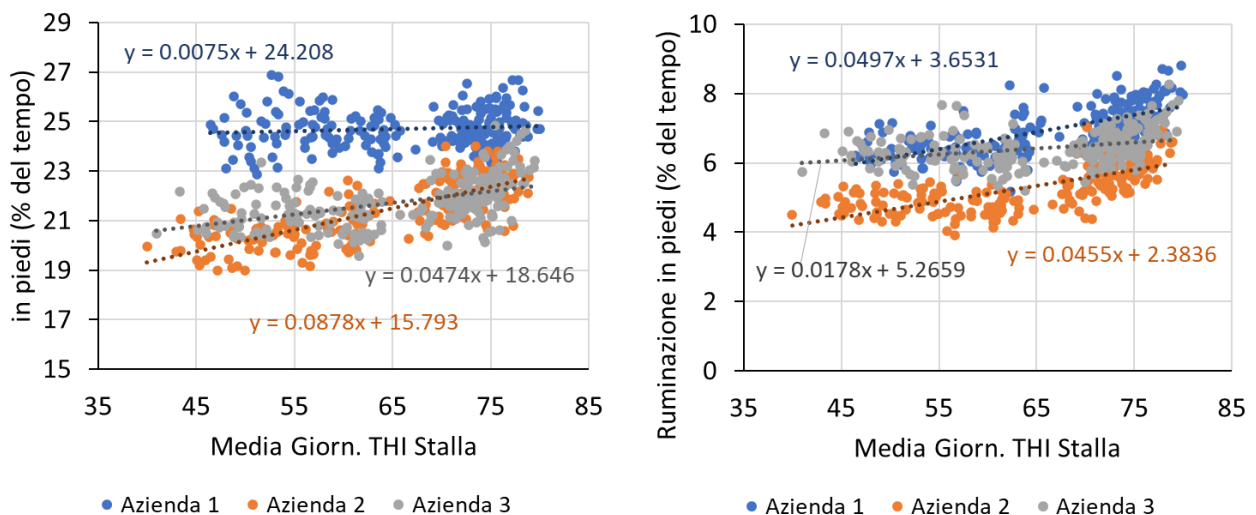


Figura 17 – Relazione tra il valore medio giornaliero di THI e il comportamento delle bovine nelle tre stalle.

Un ulteriore utilizzo dei dati riguarda la possibilità di individuare precocemente animali con situazioni anomale. Un esempio è riportato in Figura 20, dove sono riportati i valori di alcuni parametri comportamentali di un gruppo di bovine sane rispetto a quelle con una patologia diagnosticata. Come si può notare, la registrazione del comportamento consente di evidenziare con un anticipo di 2-3 settimane lo stato anomalo e quindi permette all'allevatore di intervenire tempestivamente.

Anche l'individuazione dei calori può essere agevolata dal sistema integrato. Anche se questa funzione è diffusa in sistemi commerciali, l'utilizzo del sistema integrato può migliorare il livello informativo in quanto consente non solo di evidenziare l'aumento di attività dell'animale tipica dell'estro (Figura 18) ma anche di valutare l'andamento dell'attività motoria della mandria che è fortemente legata alle condizioni microclimatiche, come si può rilevare dalla Figura 19. In questo modo è possibile depurare dalle variazioni dell'attività motoria della singola bovina quella dell'intera mandria in relazione al rilievo delle condizioni ambientali.

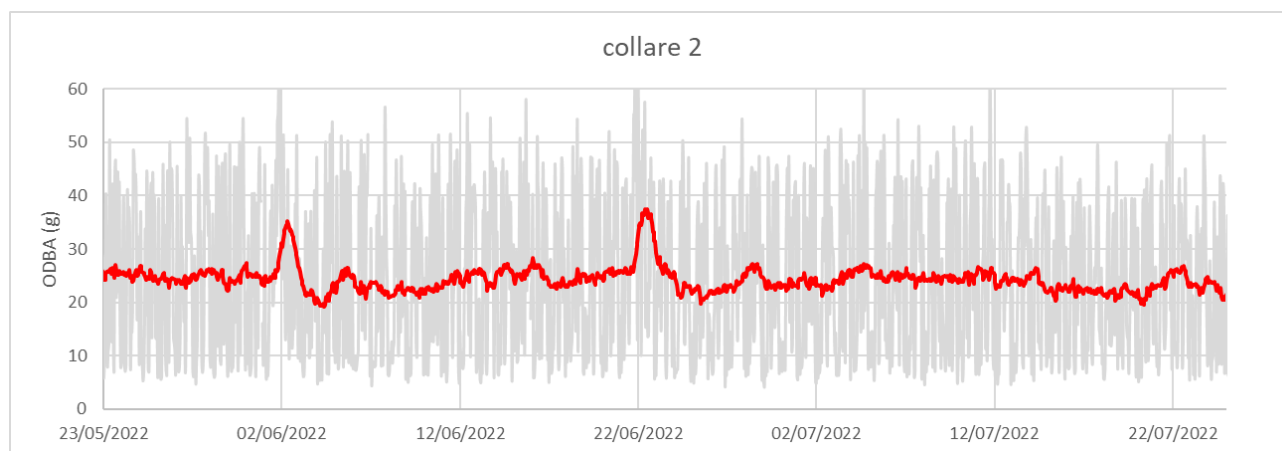


Figura 18 – Andamento della media mobile dell'attività motoria di una bovina che evidenzia i momenti di estro.

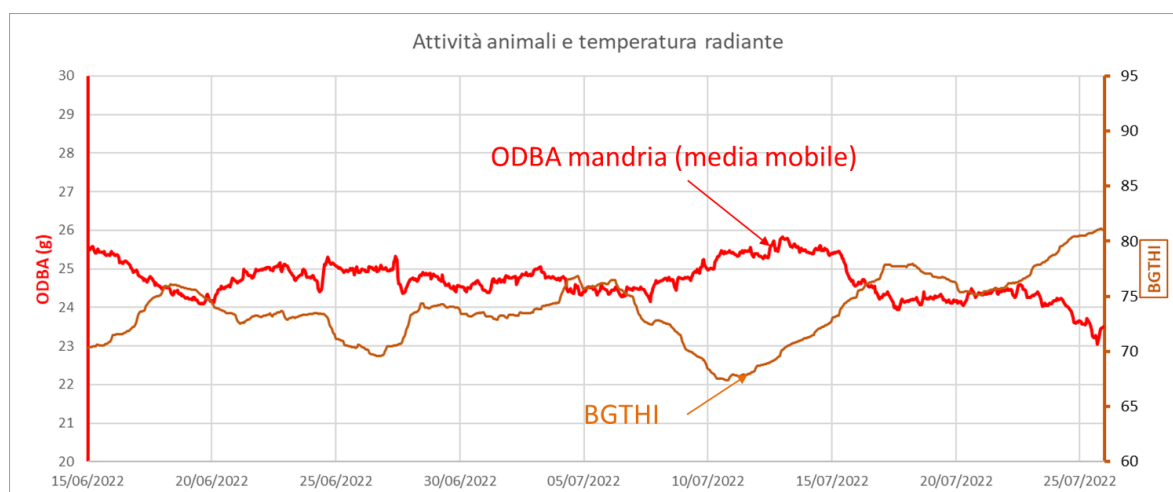


Figura 19 - Andamento della media mobile dell'attività motoria di una bovina in rapporto alle temperature misurate con il Globotermometro.

Trattandosi di un prototipo, le performances in termini di qualità e continuità della raccolta delle informazioni è sicuramente soddisfacente. La durata del progetto e l'impostazione delle attività non ha consentito un

confronto delle prestazioni produttive e riproduttive delle tre stalle e la valutazione dei benefici che si possono ottenere grazie al sistema integrato nelle aziende dei partner del progetto.

Una valutazione su base delle esperienze riportate in bibliografia consente di evidenziare come i risparmi ottenibili riferiti a prevenzione dello stress da caldo (€ 22 - 456/vacca/anno) e individuazione estri (7 - 94 €/vacca/anno) consentirebbero di ripagare l'investimento che per una stalla di 200 capi è stimabile in 40-50.000 euro mediamente in un paio di anni.

Un maggior dettaglio relativo alla valutazione tecnico economica è riportata nell'allegato G.

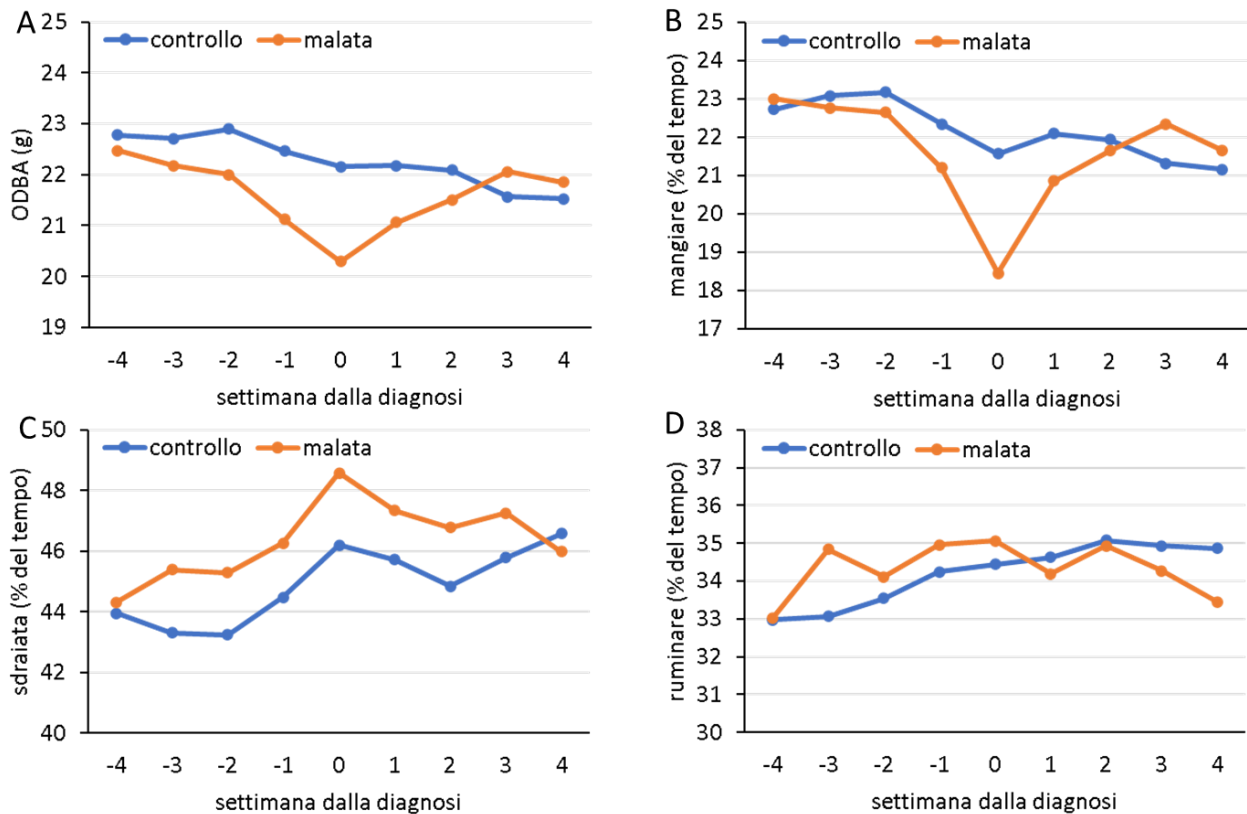


Figura 20 - Valori medi dell'accelerazione dinamica complessiva (A), percentuale del tempo in alimentazione (B), percentuale del tempo di riposo (C) e percentuale del tempo trascorso a ruminare delle bovine a cui è stato diagnosticato un problema di salute (malata) rispetto alle altre bovine nel periodo di 4 settimane prima e dopo la diagnosi.

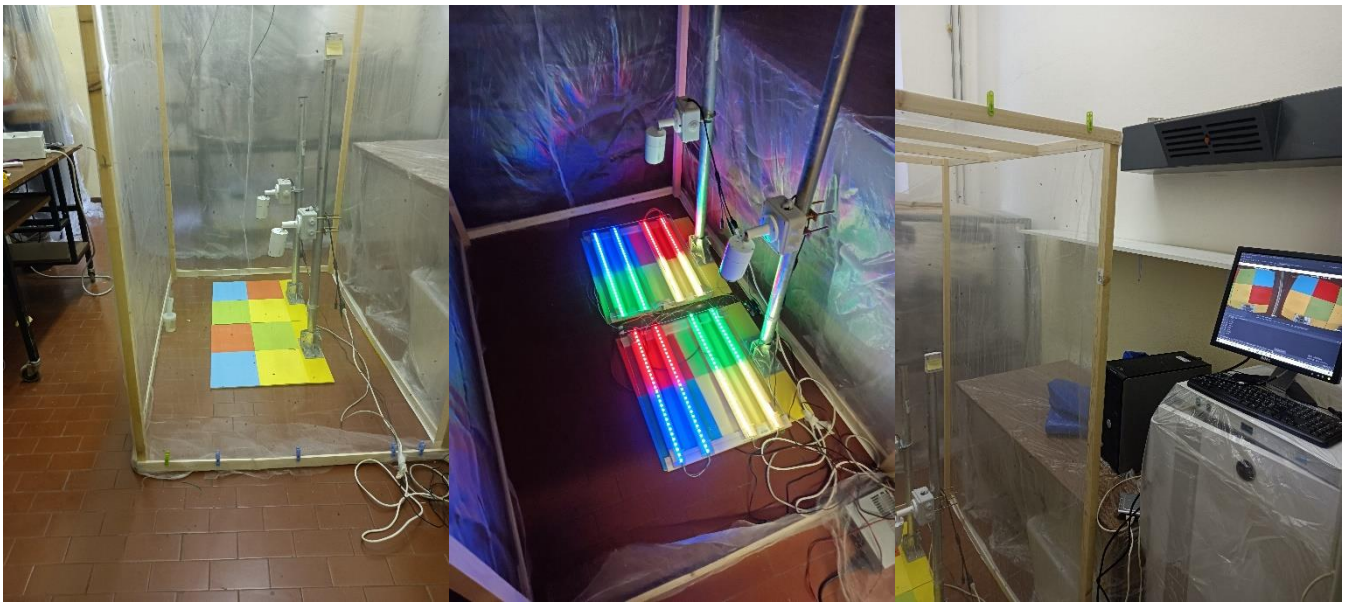
### Criticità e attività complementari

Alcune installazioni hanno evidenziato criticità di posizionamento dei sensori, essenzialmente per due motivi:

- interazione con gli animali. I sensori di temperatura e umidità della lettiera sono stati spesso rimossi dagli animali o i fili del sensore sono stati strappati. Questo ha limitato il periodo di funzionamento di questi sensori e ha causato perdite di diversi sensori.
- Esposizione all'acqua. Alcuni sensori dei contatori dell'acqua posizionati sotto gli abbeveratoi hanno subito infiltrazioni di acqua con conseguente danneggiamento del circuito elettrico. Per

questi è stata individuata una soluzione di montaggio alternativa, con posizione del contenitore sopra all'abbeveratoio, ad un'altezza non raggiungibile dagli animali.

Il sistema sviluppato per il conteggio delle mosche ha funzionato correttamente dal punto di vista elettronico, ma non ha consentito di rilevare adeguatamente la presenza di mosche in quanto il numero di insetti presenti sul pannello è risultato molto limitato o nullo. L'utilizzo di pannelli di carta moschicida non ha modificato significativamente la situazione. Sono state valutate altre soluzioni alternative in laboratorio (diversi colori, uso di feromoni, uso di luci con colori diversi) (Figura 21) non ha portato a risultati soddisfacenti. Per rilevare questa informazione in stalla dovranno essere approfondite le ricerche in modo da studiare una sensoristica adatta.



*Figura 21 - Sperimentazione per la determinazione dell'efficacia di attrazione delle mosche con diversi sistemi. A sinistra utilizzo di diversi colori, al centro uso di luci colorate, a destra analisi dell'immagine.*

Nell'ultima fase del progetto, è stato valutato l'utilizzo di un sistema di localizzazione delle bovine all'interno della stalla. Questa tecnica è stata individuata come una possibile soluzione per individuare la presenza di animali nella zona di alimentazione, come previsto nel piano di lavoro.

La tecnologia sperimentata è quella basata su antenne installate sopra le bovine in grado di determinare, in base all'angolo di arrivo, la posizione di un sensore posizionato sugli animali. In Figura 22 è possibile vedere un'antenna montata sulla struttura di sostegno della copertura della stalla della C.na San Francesco e una immagine della posizione delle bovine nella stalla. Questo sistema ha fornito risultati interessanti e ha il vantaggio di poter essere utilizzato con gli stessi collari sviluppati e integrati nel sistema GALA. La prima valutazione del sistema ha messo in evidenza l'enorme potenzialità e interesse di questa tecnologia. Ovviamente il sistema va messo a punto e integrato con le altre informazioni. Questa attività è oggetto di un progetto (Sistemi Per il monitoraggio e localizzazione in allevamenti Zootecnici Intensivi per la gestione Ottimale delle bovine – SPAZIO) che è stato attivato nell'ambito della misura 1, operazione 1.2.01 del PSR 2014-2020.

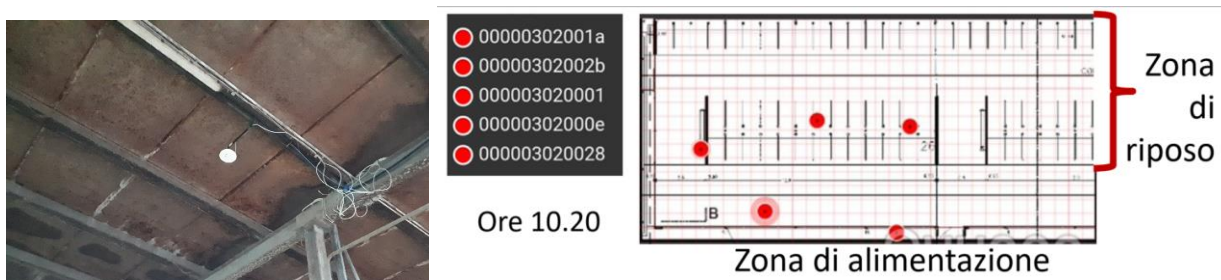


Figura 22 – Installazione di un’antenna (a sinistra) e localizzazione di 5 bovine in una porzione della stalla della C.na San Francesco dove è stato sperimentato il sistema di localizzazione.

## Sottoprogetto trasferimento dei risultati

Nel corso del progetto sono state svolte diverse attività di trasferimento dei risultati che possono essere riassunte in:

- a) predisposizione della pagina web del progetto (<https://costruzionirurali.unimi.it/gala/>). Dopo una prima pagina informativa iniziale, il sito si è arricchito di contenuti, sia su alcune attività specifiche come a esempio la messa a punto degli accelerometri. La pagina web inoltre mette a disposizione degli utenti il materiale prodotto durante il progetto e la documentazione delle giornate dimostrative.
- b) Realizzazione dell’opuscolo informativo del progetto (**Allegato H**). È stato prodotto in italiano e in inglese e può essere scaricato dalla pagina web del progetto. Riporta la finalità del progetto, la composizione del partenariato e alcuni esempi dei risultati conseguibili con il prototipo.
- c) Predisposizione della scheda tecnica del prototipo (**Allegato I**). È stata prodotta in italiano e in inglese ed è scaricabile dalla pagina web del progetto, sezione risultati del progetto. Riporta in modo sintetico i principali elementi del sistema integrato e illustra alcuni aspetti della sua funzionalità.
- d) Stesura delle relazioni finali sintetiche per ogni prototipo (**Allegato L**) in cui vengono riportate le installazioni nelle tre aziende partner del prototipo con le principali caratteristiche. Anche queste relazioni sono disponibili sulla pagina web del progetto.
- e) Realizzazione di tre momenti dimostrativi (una per ogni prototipo installato nelle imprese agricole partner). Le giornate sono state svolte il 1 luglio 2022 (Merigo), il 27 ottobre 2022 (Berticelli) e il 17 novembre 2022 (Cecchinato). Le giornate dimostrative hanno complessivamente visto la partecipazione di oltre 120 tra agricoltori, tecnici e professionisti, come testimoniato dalla registrazione delle presenze (**Allegato M**). Nello stesso allegato sono riportate le locandine e la comunicazione effettuata a Regione Lombardia degli eventi.
- f) Realizzazione di un convegno finale, svoltosi a Crema e online il 19 gennaio 2023. Al convegno hanno partecipato oltre 120 persone, e sono intervenuti anche il direttore generale agricoltura dott. Andrea Massari e il dott. Luca Zucchelli di Regione Lombardia. Inoltre, sono stati presentati i risultati di progetti collegati. La locandina del convegno, la comunicazione a Regione Lombardia e la registrazione dei partecipanti sono riportate nell’**Allegato N**. Le slides delle presentazioni sono disponibili sulla pagina web del progetto.
- g) Produzione di due pubblicazioni scientifiche e presentazione a convegni (**allegato O**):  
Sono state prodotte le seguenti pubblicazioni scientifiche:



- Leliveld, L.M.C.; Provolo, G. A Review of Welfare Indicators of Indoor-Housed Dairy Cow as a Basis for Integrated Automatic Welfare Assessment Systems. *Animals* **2020**, *10*, 1430.
- Lovarelli, D.; Brandolese, C.; Leliveld, L.; Finzi, A.; Riva, E.; Grotto, M.; Provolo, G. Development of a New Wearable 3D Sensor Node and Innovative Open Classification System for Dairy Cows' Behavior. *Animals* **2022**, *12*, 1447.

Inoltre, le attività del progetto sono state presentate ai seguenti Convegni scientifici:

VI International Conference on Safety, Health and Welfare in Agriculture and Agro-food Systems, RAGUSA SHWA, September 15-16, 2021 - on line – and: Leliveld L., Riva E., Provolo G., PLF and barn microclimate. I risultati del Progetto Gala sono stati illustrati anche nell'ambito del meeting Smart dairy farming: innovative solutions to improve herd productivity, Paestum (SA), 16 settembre 2021, all'interno del quale è stata effettuata la presentazione al convegno SHWA.

10th European Conference on Precision Livestock Farming ECPLF 2022, 29th Aug – 2nd Sep 2022 Vienna, Austria: Lisette M.C. Leliveld, Elisabetta Riva & Giorgio Provolo. Prototype design of an integrated system to monitor dairy cow welfare.

AIIA 2022 Conference "Biosystems Engineering Towards The Green Deal: Improving the resilience of agriculture, forestry and food systems in the post-Covid era", Palermo, Italy, September 19-22, 2022: Lisette M.C. Leliveld, Daniela Lovarelli, Elisabetta Riva, Alberto Finzi, Giorgio Provolo. Development of an integrated automatic system to monitor cow welfare.

h) Pubblicazione di 3 articoli divulgativi sulla stampa tecnica di settore (**allegato P**):

- Provolo G., Riva, E., Finzi A., Leliveld L. Monitorare la stalla per dare più benessere. *Informatore zootecnico* **2020**, *20*, 68-72.
- Provolo G., Leliveld L., Riva E., Grotto M., Lovarelli D. Gestione ottimale della mandria integrando i dati della stalla. *Informatore agrario – Stalle da latte* **2021**, *5*, 28-32.
- Gala: gestione integrata dell'ambiente nelle stalle da latte per migliorare il benessere e la produttività delle bovine. *Agronotizie*, 2021, 11.  
<https://agronotizie.imagelinenetwork.com/zootechnia/2021/10/11/gala-gestione-integrata-dell-ambiente-nelle-stalle-da-latte-per-migliorare-il-benessere-e-la-produttivita-delle-bovine/71850>

Inoltre, l'attività del progetto ha coinvolto diversi studenti universitari in formazione. Quattro studenti triennali e uno magistrale hanno svolto il loro tirocinio rilevando dati nelle aziende di GALA e elaborando le informazioni raccolte dai prototipi. Sono state effettuate anche visite didattiche presso gli allevamenti dei partner del GO GALA.

## Valutazione complessiva dell'andamento del progetto e dei potenziali sviluppi

Il progetto ha consentito di sviluppare un prototipo di sistema per la gestione integrata dell'ambiente nella zona di stabulazione. La realizzazione di sensori dedicati ne ha consentito l'effettiva integrazione in un unico sistema di elaborazione e visualizzazione che ha mostrato le potenzialità di queste tecnologie. Lo sviluppo di un collare con accelerometro ha consentito di ottenere delle informazioni non elaborate sul comportamento delle bovine. Questo oltre a consentire di individuare i comportamenti fondamentali degli animali, apre la possibilità a nuove ricerche e utilizzi rispetto a sistemi commerciali che forniscono dati trattati con algoritmi non noti e spesso non immediatamente interpretabili.



Il funzionamento dell'intero sistema per oltre un anno senza inconvenienti di rilievo, considerando la realizzazione prototipale, ha consentito non solo di validare la sensoristica e ottenere dati importanti per l'analisi delle tre stalle dove è stato installato, ma anche di valutare le criticità di installazione e individuare soluzioni ottimali per il posizionamento dei sensori che solo in parte sono state attuate nel progetto, ma costituiscono indicazioni per lo sviluppo futuro del sistema.

Le informazioni raccolte dal prototipo mostrano che un sistema integrato per monitorare il clima della stalla e il benessere delle vacche consente di monitorare molti fattori rilevanti per il benessere, la salute e la produzione delle bovine. I dati sul clima della stalla, come il THI, possono essere predittivi del comportamento degli animali, della produzione di latte, della qualità del latte, del verificarsi di eventi sanitari, della longevità della vacca e del successo riproduttivo.

Oltre a migliorare la produzione complessiva, il sistema consente anche di ridurre le spese dell'allevamento attraverso una riduzione del tempo di lavoro, un uso più efficiente delle risorse e dell'energia e i costi legati al funzionamento di diversi sistemi di monitoraggio indipendenti.

Per rendere efficaci le informazioni raccolte, devono essere facilmente fruibili da parte dell'allevatore. Per questo la dashboard sviluppata su web rappresenta un esempio di come le informazioni possano essere mostrate in modo sintetico ed efficace, consentendo poi un approfondimento dei dati, quando richiesto.

Ovviamente, il prototipo ha avuto la finalità di validare e dimostrare i vantaggi ottenibili con l'integrazione dei dati monitorando l'ambiente di stabulazione. La sua applicazione negli allevamenti da latte richiede un ulteriore sviluppo per ottimizzare alcuni aspetti sia relativi all'installazione dei sensori, sia relativi all'elaborazione dei dati. Per quanto riguarda la sensoristica, è necessario migliorare alcuni aspetti dei contenitori dei sensori, in particolare quelli da montare sugli animali. A questo proposito si deve considerare che quelli utilizzati sono contenitori commerciali mentre l'utilizzo di forme e materiali dedicati possono aumentare la resistenza e la stabilità delle misure.

Lo sviluppo di un sistema di localizzazione delle bovine potrebbe fornire un'ulteriore informazione per migliorare l'individuazione di condizioni anomale degli animali e zone della zona di stabulazione che non garantiscono le condizioni ottimali per gli animali.

L'elaborazione dei dati richiede lo sviluppo algoritmi più evoluti, basati anche su approcci di Intelligenza Artificiale per fornire indicazioni operative agli allevatori. È necessario inoltre prevedere l'integrazione con i dati raccolti in sala di mungitura (produzione e qualità del latte) che sono spesso già disponibili nell'allevamento ma scarsamente integrati con altre informazioni.

Dal quadro delineato emerge chiaramente la nuova opportunità che il progetto Gala ha voluto cogliere sviluppando un nuovo e innovativo sistema integrato di controllo dell'ambiente che consente miglioramenti significativi delle condizioni ambientali e di benessere delle bovine.

Miglioramenti che si traducono in una maggiore sostenibilità economica e ambientale attraverso:

- l'incremento della redditività, competitività e produttività della mandria in termini sia di quantità e qualità di latte prodotto, sia di fertilità delle bovine;
- riduzione delle emissioni in aria di gas nocivi e riduzione anche dell'impatto ambientale dell'attività zootecnica mediante l'uso più efficiente delle risorse disponibili (consumo energetico e idrico);
- migliore gestione della mandria dal punto di vista del benessere animale con effetti positivi sulla sanità animale e sulla longevità e riduzione dei costi per trattamenti veterinari.