



FONDAZIONE INIZIATIVE ZOOPROFILATTICHE E ZOOTECHNICHE
BRESCIA

ZOOTECNIA DI PRECISIONE: APPLICABILITÀ E AFFIDABILITÀ

Testo estratto dal relativo evento FAD

A cura di Fabio Abeni

EDITO A CURA DELLA
FONDAZIONE INIZIATIVE ZOOPROFILATTICHE
E ZOOTECHNICHE - BRESCIA

1¹⁵

ZOOTECNIA DI PRECISIONE:
APPLICABILITÀ E AFFIDABILITÀ

FONDAZIONE INIZIATIVE ZOOPROFILATTICHE E ZOOTECHNICHE
- BRESCIA -

Responsabile scientifico: Prof. MARIO COLOMBO

**ZOOTECNIA DI PRECISIONE:
APPLICABILITÀ E AFFIDABILITÀ**

Testo estratto dal relativo evento FAD

A cura di
FABIO ABENI

EDITO A CURA DELLA
FONDAZIONE INIZIATIVE ZOOPROFILATTICHE
E ZOOTECHNICHE - BRESCIA
Via Istria, 3/b - 25125 Brescia

ISBN 978-88-97562-30-6

© Fondazione Iniziative Zooprofilattiche e Zootecniche - Brescia, settembre 2021

Litos s.r.l. - Gianico (BS) 2021

INDICE

Presentazione.....	pag. VII
M. COLOMBO	
Prefazione.....	IX
F. ABENI	

I CONTRIBUTI

<i>Zootecnia di precisione e termografia in suinicoltura: dall'allevamento alla macellazione</i>	pag. 1
L. NANNI COSTA, F. LUZI, V. REDAELLI, P. MARTINO, B. PADALINO	
<i>Zootecnia di precisione e sensoristica per la salute della mammella e la qualità del latte....</i>	13
M. ZUCALI, A. SANDRUCCI, A. ZECCONI	
<i>Alimentazione di precisione: quali informazioni dall'alimento, dall'animale e dall'ambiente</i>	27
G. MARCHESINI, U. BERNABUCCI, P. DE PALO, F. ABENI	
<i>Dai pedometri al progesterone nel latte: il contributo della tecnologia alla gestione della riproduzione</i>	39
G. NEGLIA, R. MATERA, A. COTTICELLI, M. CROCIATI, M. MONACI, A. FANTINI, A. SALZANO	
<i>Sistemi automatici di mungitura ed accelerometri: analisi dei dati da essi prodotti e loro utilizzo</i>	53
C. DIMAURO, V. LOPREIATO	

PRESENTAZIONE

Nel corso dei secoli, l'uomo ha sempre teso verso quello che molti definiscono il "riordino" di quanto la Natura ci ha offerto in modo equilibrato, ma caotico.

Si pensi alla classificazione di tutti gli Organismi con cui abitiamo il pianeta Terra. Dai virus (tanto citati oggi), ai vegetali, agli animali di tutte le specie.

Sono state classificate persino le pietre, a seconda della loro composizione e origine. Abbiamo inventato la nomenclatura binomiale, attraverso la quale, ogni Organismo, ha assegnato un "nome" e un "cognome". Esattamente come per le persone. Il primo corrisponde al genere di appartenenza e il secondo alla specie. *Apis* (genere) *mellifera* (specie) e così per tutto: *Quercus ilex*, *Canis lupus*, *Bos taurus*, fino a autodenominarsi... *Homo sapiens*, l'uomo.

Riordino: è la parola d'ordine, che le diverse Civiltà, susseguitesi in questo nostro mondo, hanno rispettato.

Ma questa attitudine al "mettere ordine", si è manifestata non solo nella denominazione delle forme viventi e non, ma anche nella operatività quotidiana. L'uomo, prima predatore e raccoglitore, poi allevatore allo stato brado e disordinato coltivatore, via via fino ad allevare producendo lui stesso il cibo degli animali allevati, e coltivatore, dando sempre più compostezza agli alberi o alle sementi dispensatrici di cibo.

Ma l'uomo non si è mai accontentato dei traguardi raggiunti e anche in agricoltura (verrebbe da dire: soprattutto in agricoltura) le tecniche e gli strumenti utilizzati per produrre, hanno sempre avuto una evoluzione, a beneficio della qualità del prodotto e degli animali allevati, della razionalità nell'uso degli spazi e di una economia derivante dalla riduzione degli sprechi.

Sulla scia di quanto scritto, in tempi relativamente recenti, il termine più ricorrente nell'agricoltura è "precisione".

Questa maggiore e massima attenzione nell'allevamento come nella coltivazione, mira ad ottenere il massimo della qualità, quantità, economicità e ora, anche rispetto ambientale.

La Zootecnia di precisione, è uno dei traguardi recenti, raggiunti da alcune aziende produttrici di carne o latte. Metodi di allevamento che portano beneficio anche agli animali, tramite una maggiore igiene degli ambienti e delle attrezzature. Salubrità derivante dalla conoscenza delle necessità ottimali di vita, rispettando persino le modalità di trasferimento e di abbattimento.

Questo testo vuole offrire le conoscenze a coloro che a vario titolo si occupano di zootecnia, perché l'evoluzione dell'uomo si accompagni a quella del rispetto delle specie allevate e abbinando alla economicità di gestione, l'igiene e il valore dell'ambiente come fonte di salute per tutte le specie che popolano la Terra.

Il Responsabile Scientifico
Prof. MARIO COLOMBO

PREFAZIONE

Il volume “Zootecnia di precisione: applicabilità e affidabilità” rappresenta il primo contributo a stampa della Commissione “*Precision Livestock Farming*” dell’Associazione per la Scienza e le Produzioni Animali (ASPA), realizzato grazie all’incontro con le esigenze formative e la sensibilità scientifica della Fondazione Iniziative Zooprofilattiche e Zootecniche di Brescia. ASPA è l’associazione che raduna la comunità scientifica che in Italia si occupa delle diverse articolazioni delle produzioni animali, coprendo sia tutte le specie allevate (acquacoltura inclusa), sia tutti gli approcci disciplinari (dalla genetica alla fisiologia, dalla nutrizione all’alimentazione, dal benessere animale alla qualità delle produzioni e all’impatto ambientale, passando per tutte le tecniche di allevamento). Nell’ambito delle attività ASPA, le Commissioni di studio rappresentano un importante momento di approfondimento di specifiche tematiche. La nostra Commissione “*Precision Livestock Farming*” ha iniziato i suoi lavori ad aprile 2020, sull’onda del crescente interesse verso una tematica nella quale sono riposte tante aspettative dal mondo produttivo, ma che necessita ancora di alcuni passaggi verso una organizzazione sistematica dei saperi che in essa confluiscono (con un elevato grado di interdisciplinarietà) e dei criteri con cui le varie figure imprenditoriali e professionali devono affrontarne l’analisi per trarne le relative utilità.

Per questo, la nostra Commissione ha ritenuto estremamente importante cogliere l’occasione di partecipare alla realizzazione di questo evento FAD, promosso dalla Fondazione, abbinando ai contributi video la realizzazione di un volume con cinque scritti, realizzati da suoi membri e collaboratori che hanno voluto effettuare una prima analisi delle principali applicazioni di zootecnia di precisione che si stanno affermando negli allevamenti italiani. Dalla mungitura, che ha visto i primi passi dello sviluppo di una sensoristica estremamente raffinata in funzione della automazione, alla riproduzione, che ha richiamato presto l’attenzione degli allevatori soprattutto per i grandi contributi nel miglioramento della rilevazione degli estri grazie a innovativi dispositivi, passando poi per l’alimentazione di precisione (con particolare attenzione all’allevamento dei ruminanti), evidenziando l’importanza della trasformazione dei dati in informazione, senza tralasciare le specificità dell’allevamento e del trasporto del suino, si è cercato di produrre un supporto alla attività formativa specifica dell’omonimo corso FAD e, al contempo, di mettere a disposizione di tutti gli interessati un primo strumento di introduzione a questa grande innovazione in corso nella zootecnia.

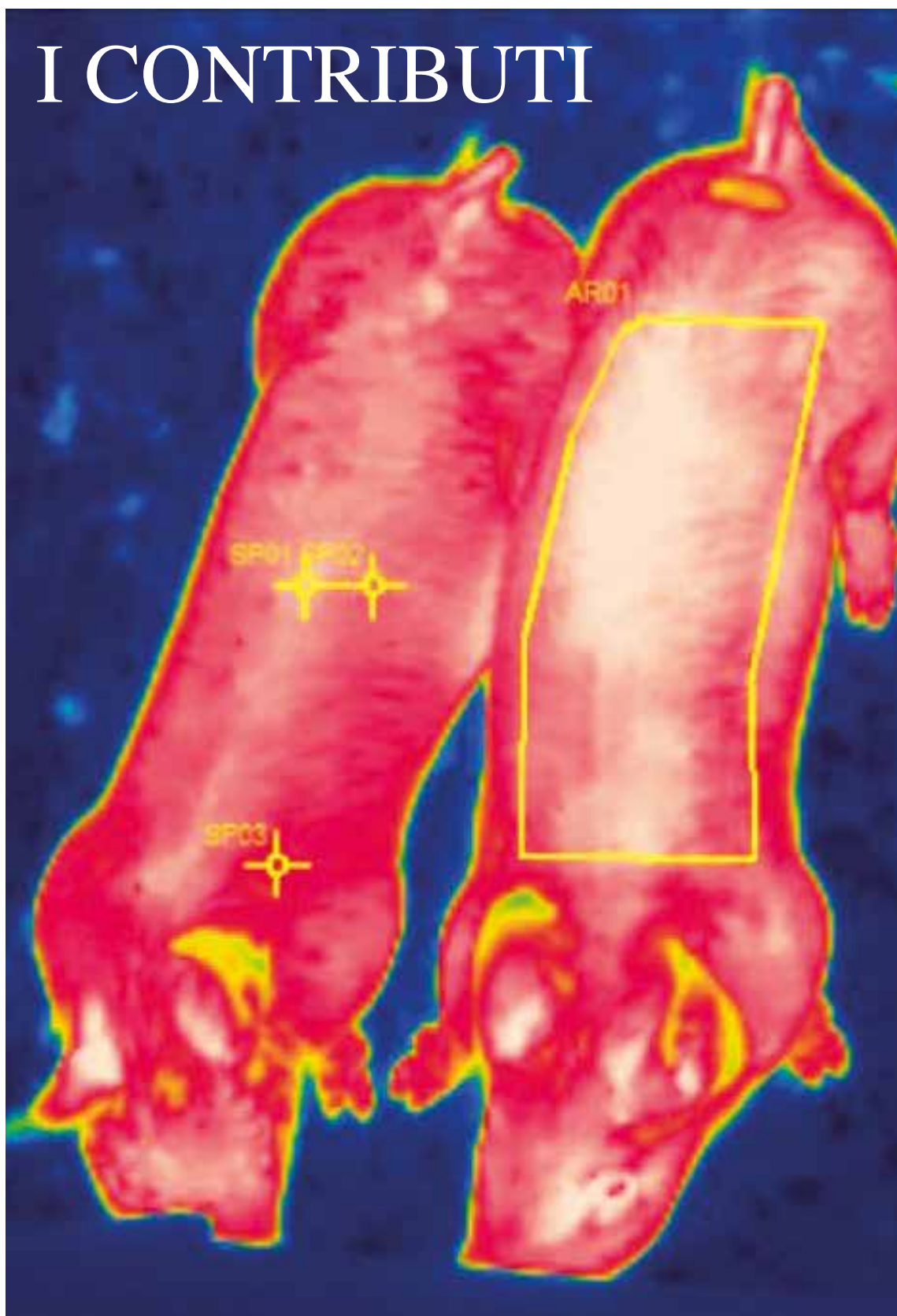
Un ringraziamento va alla Fondazione, per come ha accolto le proposte della nostra Commissione e per come ha interagito (anche con grande cordialità) con i colleghi che hanno realizzato i contributi video e gli scritti, credendo nella utilità di questa operazione formativa. Ringrazio anche i colleghi della Commissione per l’entusiasmo con cui hanno affrontato questo lavoro, con la grande competenza scientifica che li caratterizza e che certamente i lettori apprezzeranno in queste pagine.

FABIO ABENI

Centro di ricerca Zootecnia e Acquacoltura, CREA

*Coordinatore della Commissione
“Precision Livestock Farming”
dell’Associazione per la Scienza
e le Produzioni Animali (ASPA)*

I CONTRIBUTI



ZOOTECNIA DI PRECISIONE E TERMOGRAFIA IN SUINICOLTURA: DALL'ALLEVAMENTO ALLA MACELLAZIONE

LEONARDO NANNI COSTA ¹, FABIO LUZI ², VERONICA REDAELLI ²,
PIERANNA MARTINO ², BARBARA PADALINO ¹

¹ *Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agro-alimentari – Sezione di Zootecnia -
Alma Mater Studiorum, Università di Bologna*

² *Dipartimento di Scienze Biomediche, Chirurgiche e Odontoiatriche –
Sezione One Health - Università degli Studi di Milano*

ABSTRACT

La termografia è una tecnica che, per le sue caratteristiche, si adatta molto bene ad operare in contesti tra loro diversissimi quali l'edilizia, l'impiantistica, la medicina umana e, non ultima, la zootecnia di precisione. Nell'ambito dell'allevamento degli animali, le sue applicazioni sono innumerevoli e riguardano, per citarne solo alcune, il controllo degli insilati, la salute della mammella, la valutazione dello stress e la diagnosi precoce di alcune malattie. Nel campo della suinicoltura, la termografia, rilevando a distanza la temperatura cutanea, si presta molto bene ad operare negli allevamenti poiché è in grado di effettuare tale misura senza entrare in contatto o interagire con il soggetto, quindi non alterando il suo comportamento, e in modo completamente non invasivo, dato che non richiede contenzione. Le possibili applicazioni in ambito suinicolo riguardano l'individuazione del calore nella scrofa, la riduzione dell'incidenza della mortalità neonatale da ipotermia, il riconoscimento dello stato febbrile causato da agenti patogeni, lo studio dell'efficienza metabolica, la valutazione dello stress da caldo o da interazione aggressiva e la previsione della qualità della carne. Tale ventaglio di applicazioni rendono la termografia ad infrarossi una tecnica largamente utilizzabile per avere informazioni importanti sullo stato termico degli animali grazie alle quali la gestione delle fasi produttive e le operazioni sui singoli animali possono essere più rapide ed efficaci.

Parole chiave

Termografia, suinicoltura, allevamento, trasporto, macellazione

APPLICAZIONE DELLA TERMOGRAFIA NELL'ALLEVAMENTO DEL SUINO

Nell'ambito della suinicoltura, la termografia è impiegata in numerose fasi di produzione perché non è invasiva, non richiede contatto con la superficie da misurare, si può applicare su soggetti difficili da avvicinare o in movimento e la sua applicazione può risultare vantaggiosa lungo catene di la-

vorazione come le linee di macellazione. La versatilità applicativa della termocamera, lo strumento in grado di rilevare la quantità di calore prodotto da un corpo o da una superficie, non deve metter in secondo piano la conoscenza dei fattori che potrebbero influenzare la misurazione termometrica.

L'emissività è una caratteristica peculiare di qualsiasi superficie che emette calore e quindi occorre tarare la termocamera tenendo conto di questo parametro che, per

le parti misurabili sugli animali di interesse zootecnico, viene considerata pari a 0,98 (Soerensen et al. 2014). Anche i parametri ambientali del luogo in cui si effettua la misura, ossia la temperatura e l'umidità relativa, vanno considerati nel settaggio della termocamera, perché lo strumento può registrare valori diversi in presenza di variazioni sensibili di tali parametri. Deve inoltre essere considerata la distanza dal soggetto nonché l'angolo di visione. Anche la presenza di acqua o di sporcizia sulle superfici da misurare, la vicinanza a piani riflettenti, la radiazione solare e il vento possono interferire sulla misurazione termometrica. Per tale motivo, nell'applicazione della termografia in ambito zootecnico si pone particolare attenzione al valore massimo di temperatura che si riscontra nell'area osservata. Quello minimo potrebbe essere influenzato dalla presenza di sporcizia o di liquido e riveste, quindi, minore interesse (Lengling et al., 2020).

L'uso corretto della termocamera non è banale e va tenuto in considerazione nel momento in cui si utilizza la tecnica termografica in allevamento. Di seguito verranno illustrate brevemente le applicazioni più rilevanti di tale tecnica nel settore suinicolo al fine di dare una visione delle sue potenzialità

Rilevamento dell'estro

La termografia si presta molto bene ad individuare le variazioni di temperatura superficiale della zona vulvare nelle scrofette e nelle scrofe in calore perché non è coperta da setole. Inoltre, è facilmente rilevabile dall'operatore, dato che il soggetto è posto all'interno di una gabbia di fecondazione ed ha il posteriore orientato verso il corridoio di passaggio. Alcuni studi sul rilevamento dell'estro (Scolari et al., 2009; Scolari et al., 2011, Simoes et al., 2014) hanno evidenziato che, in fase pre-ovulatoria, il picco di temperatura vulvare raggiunge valori appena superiori ai 36°C mentre nelle scrofette è più basso di circa mezzo grado. Successivamente tali valori si abbassano rispettivamente a 34,6 °C e 33,9 °C a 12 ore prima dell'ovulazione. Syckes et al. (2012) hanno confermato le variazioni della temperatura vulvare associate all'estro riscontrando valori leggermente superiori a quelli sopra indicati (Foto 1) e osservando, come gli Autori precedenti, l'assenza di relazioni tra la temperatura vulvare e quella rettale o quella delle natiche (Simoes et al., 2014).

Nel complesso appare evidente come la termografia sia adatta ad individuare le variazioni di temperatura vulvare nelle diverse fasi del ciclo ovarico e può rappresentare una tecnica applicabile non solo all'indi-

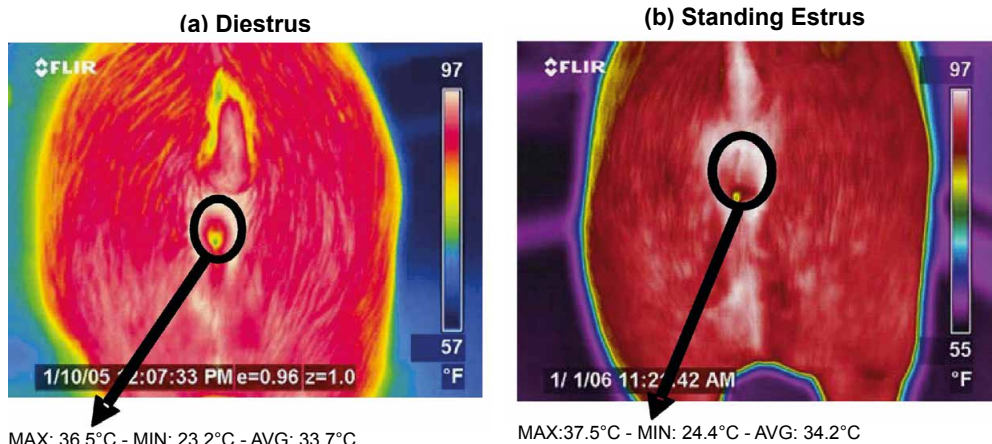


Foto 1 – Variazione della temperatura vulvare in diestro (a) ed in estro (b) (Syckes et al., 2012).

duazione dell'estro ma anche nel monitoraggio del suo abbassamento verso la fase di ovulazione. Attualmente i sensori termografici hanno ancora un costo elevato ma è presumibile che questo si abbasserà nei prossimi anni, rendendo così possibile una loro collocazione stabile all'interno delle scrofaie ai fini dell'individuazione del momento migliore per effettuare la fecondazione.

Ipotermia del suinetto neonato

È noto che l'ipotermia neonatale è una causa frequente di mortalità nei suinetti pre-svezzamento riguardando, in particolare, quei soggetti che hanno temperature più basse nelle prime ore dopo il parto (Schmitt and O'Driscoll, 2020). Solitamente sono i soggetti che mostrano il peso più basso alla nascita che hanno difficoltà a riprendersi dal calo iniziale della temperatura corporea che si verifica durante la prima ora dopo il parto e, successivamente, a mantenerla ad un livello adeguato (Muns et al., 2016).

Alcuni suinetti non si sviluppano completamente durante la gestazione, evidenziando un ritardo della crescita intrauterina. Infatti, presentano alla nascita un corpo anormalmente lungo e magro e una testa definita "a forma di delfino". Asciugare i suinetti alla nascita, posizionarli vicino ad una fonte di calore (lampada riscaldata o tappetino) e fornirgli un'integrazione energetica migliora lo stato termico ed evita l'ipotermia (Muns et al., 2010). La termografia permette di identificare, rapidamente, i suinetti che richiedono interventi di supporto nell'immediato *post partum* consentendo gli interventi sopracitati.

La capacità di termoregolazione dei suinetti neonati è correlata alla loro energia corporea e al loro metabolismo, la quale può essere influenzata dalle differenze genetiche tra le diverse razze esistenti, come ad esempio il peso medio e l'efficienza metabolica. Bisogna considerare anche i fattori esterni come la temperatura dell'aria o lo stato della pelle, bagnata o asciutta, che presentano i suinetti al momento dell'utilizzo della termografia,

in quanto, se asciugati manualmente, potrebbero compromettere i risultati della misurazione. È stato recentemente condotto da Schmitt et al. (2020) uno studio riguardante la possibilità di applicare la termografia nel valutare differenze nella termoregolazione tra suinetti di due linee genetiche caratterizzate da una minore o maggiore efficienza nella crescita. Sono state registrate le immagini termiche di alcuni suinetti neonati appartenenti alle due linee, inquadrando dall'alto la loro parte dorsale. Tramite l'analisi delle immagini sono stati studiati i punti di maggiore interesse che offrivano le migliori possibilità per ottenere una corretta valutazione delle temperature superficiale. I risultati hanno evidenziato come i suinetti appartenenti alla linea genetica con maggiore efficienza mostrino, sia a 15 che a 30 minuti *post partum*, una temperatura più elevata, in particolare quella delle orecchie, suggerendo un effetto della selezione genetica per l'efficienza alimentare sulle capacità di termoregolazione neonatale.

Rilevamento dello stato febbrile

L'aumento della temperatura corporea nei suini causato da un'infezione batterica o virale può essere riconosciuto utilizzando la tecnica termografica. Sono numerosi gli esempi nei quali, dopo infezioni indotte utilizzando patogeni, è stata misurata, su diverse parti del corpo, la temperatura superficiale. I tempi di risposta, rispetto alla temperatura rettale, sono più ritardati ma comunque presenti. Johnson e Dunbar (2010) hanno riportato un aumento della temperatura cutanea 6 giorni dopo l'inoculazione del virus della peste suina classica di 5,8, 12,0 e 10,0°C rispettivamente per il bordo dell'orecchio, del piede e dell'intera superficie corporea. Gli stessi Autori hanno anche osservato che la temperatura massima corporea è stata rilevata all'interno delle zampe posteriori e sul dorso dei soggetti colpiti. Risultati simili sono stati riportati in suini infettati dal virus dell'fta epizootica con incrementi del-

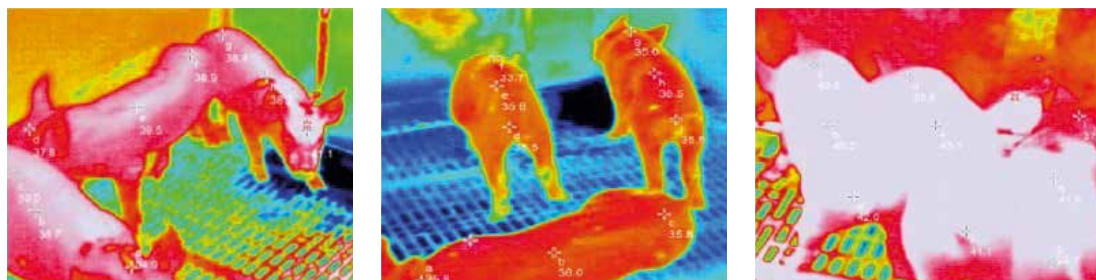


Foto 2 – Immagini termiche di suinetti non infettati (controllo), infettati con *Escherichia coli* KCTC 2571 e con *Salmonella enterica* Typhimurium KCTC 2515 (Manirul Islam et al., 2015).

la temperatura massima della pelle del piede di oltre 10° C dopo tre giorni dall'infezione (Bashiruddin et al., 2006).

La valutazione dell'incremento della temperatura cutanea superficiale su suini infettati con patogeni è stata effettuata in numerosi studi ed ha riguardato l'*Escherichia coli* (Wendt et al., 1997; Manirul et al., 2015), l'*Actinobacillus pleuropneumoniae* (Loughmiller et al., 2001; Friendship et al., 2009) e l'afta epizootica (Bashiruddin et al., 2006).

Valutazione degli effetti dell'assunzione dell'alimento e della composizione corporea

Nell'ambito della valutazione delle variazioni di temperatura legate all'assunzione dell'alimento e del suo contenuto energetico, Loughmiller et al. (2005) hanno esaminato gli effetti di quattro diete caratterizzate da livelli crescenti di energia metabolizzabile e pari a 0,75, 1,5, 2,5 e 4,7 (ad libitum) volte quella di mantenimento (ME_m). Le immagini termografiche sono state scattate tre volte al giorno per tre giorni consecutivi a partire dal quinto giorno dall'inizio della prova, dato che i primi quattro giorni sono stati utilizzati per l'adattamento alle quattro diete. I suini sono stati ripresi alla distanza di 2 m, perpendicolarmente al fianco, mentre erano liberi e in piedi nei loro box. Lo studio ha confermato che l'incremento ponderale e l'assunzione di mangime aumentano la temperatura corporea superficiale e, per la prima volta, ha mostrato l'applicabilità della rileva-

zione termografica nello studio delle variazioni di temperatura associate all'assunzione degli alimenti. Inoltre, ha evidenziato la necessità di tener conto del momento in cui si effettua la ripresa termografica sul suino e la distanza dal momento del pasto, poiché la variazione di temperatura ad esso associata può influenzare il valore rilevato.

Cook et al. (2020) hanno valutato l'applicazione della termografia nella misurazione delle perdite di calore radiante in relazione all'attività metabolica, al fine di individuare i suini più efficienti in termini di crescita. La camera termografica è stata posta al di sopra di una stazione automatica per la somministrazione del mangime in grado di pesare la quantità somministrata e quella residua, nonché di registrare il peso vivo del soggetto. La parte del corpo rilevata dalla camera è stato quindi il dorso. Le rilevazioni hanno interessato 141 suini che sono stati controllati intorno ai 35, 65 e 105 kg di peso vivo. L'applicazione di un periodo di digiuno di 24 ore ha permesso di rilevare una diminuzione della temperatura massima superficiale dorsale di 0,28°C. Inoltre, tale temperatura ha presentato una relazione negativa con l'ingestione e la crescita. Ciò ha suggerito la possibilità di individuare, mediante la termografia, i soggetti che presentano processi metabolici più efficienti accompagnati da minori perdite di energia sotto forma di energia radiante.

Lengling et al. (2020) hanno recentemente valutato se l'impiego della termografia

potesse individuare, durante la crescita degli animali, i soggetti più grassi e più magri. La loro ipotesi iniziale era che l'aumento dello strato di lardo dorsale potesse ridurre, grazie al suo potere isolante, la temperatura superficiale rilevata sul dorso. I risultati ottenuti hanno però mostrato che non è possibile effettuare tale discriminazione dato che le variazioni dello strato di grasso accompagnate alla crescita, misurate mediante ultrasuoni, non sono così ampie da causare una diminuzione della temperatura superficiale del dorso. Inoltre, i sistemi utilizzati per valutare questa possibile applicazione della termografia hanno evidenziato come gli effetti delle condizioni ambientali in cui si registrano le misure possano interferire sensibilmente quando si opera per individuare variazioni termiche molto contenute.

Valutazione dello stress da contenzione

Magnani et al. (2011) hanno valutato, mediante la termografia, le variazioni della temperatura a livello dell'occhio, della schiena, del ventre e del fianco di suinetti sottoposti preventivamente al cosiddetto "Backtest". Questo viene eseguito sui suinetti di età compresa tra 10 e 17 giorni, mantenendo il soggetto in posizione supina per un minuto e osservando la sua risposta comportamentale, che può variare dall'immobilità (low-resisters o LR) alla lotta estrema (high-resisters o HR). I soggetti HR mostrano maggiore aggressività e riluttanza ad adattarsi ai cambiamenti ambientali mentre i soggetti LR esplorano l'ambiente e mostrano una certa flessibilità nella risposta agli stimoli ambientali.

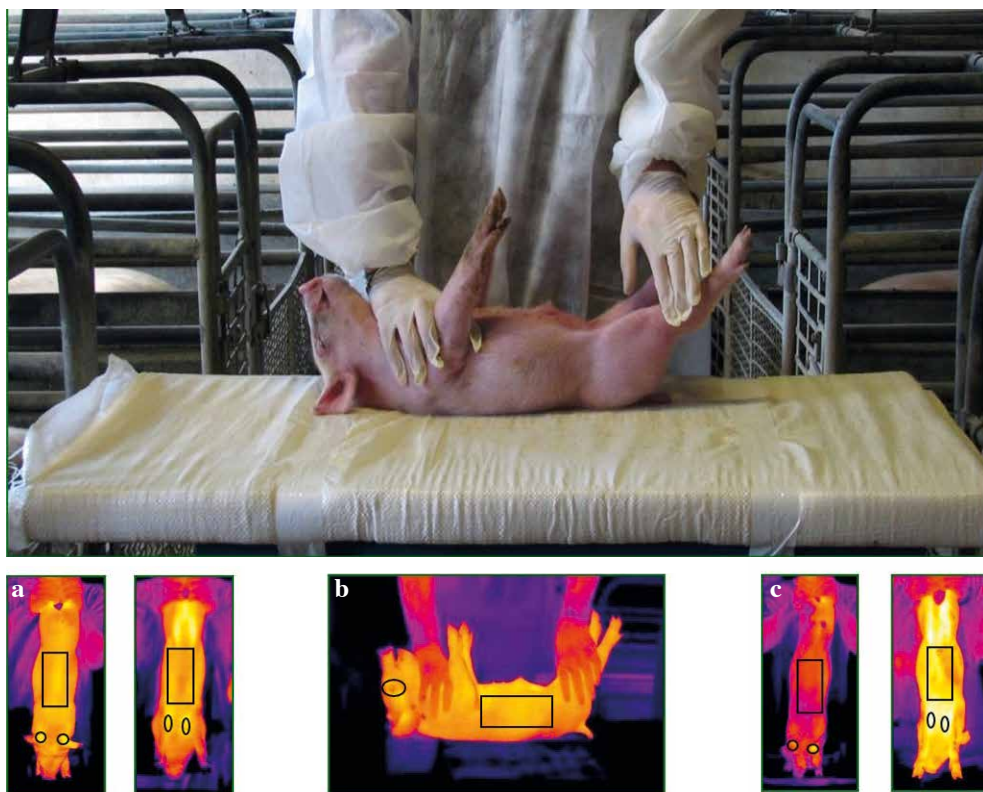


Foto 3 – Backtest e zone di misurazione termografica prima (a), durante (b) e dopo il test (c) (Magnani et al., 2011).

Il Backtest, indipendentemente dall'appartenenza dei suinetti ai gruppi LR e HR, ha portato ad una diminuzione significativa, seppur contenuta, della temperatura cutanea dell'orecchio destro e dell'occhio destro. La diminuzione di temperatura dopo il test suggerisce che la contenzione provoca una vasocostrizione periferica dovuta allo stress da immobilizzazione. Con la sola eccezione della parte dorsale (su cui erano mantenuti i suini in posizione supina), i valori della temperatura cutanea delle zone esaminate è risultato tendenzialmente più alto nei soggetti HR rispetto a quelli LR, probabilmente a causa del maggior movimento dei primi in risposta all'immobilizzazione.

Valutazione dello stress da interazione aggressiva

Boileau et al. (2019) hanno utilizzato la termografia al fine di valutare le variazioni della temperatura cutanea in risposta ad un evento fortemente stressante come un'interazione aggressiva tra due soggetti. Il problema dell'aggressività tra i suini è un dato comune in tutti gli allevamenti ed è importante acquisire informazioni per comprenderne le risposte fisiche ed emotive con l'utilizzo di tecniche non invasive come la termografia. Sono stati esaminati 46 suini, maschi interi e femmine, di 13 settimane che non avevano subito da suinetti il taglio

della coda e la spuntatura dei denti. Nella prova, che ha visto introdurre in un'apposita arena di 11 m² coppie di soggetti estranei tra loro, sono state confrontate, in 69 incontri, le combinazioni maschio-maschio, femmina-femmina e maschio-femmina. Il confronto iniziava con l'ingresso dei due soggetti nell'arena e terminava al verificarsi di tre situazioni: quando c'era un evidente vincitore, dopo 20 minuti di presenza senza interazioni e quando si presentava, anche in un solo soggetto, un comportamento di paura o di monta. Nello studio è stata selezionato il dorso, in particolare l'area compresa tra le scapole e la groppa, come finestra termica per analizzare gli scambi delle aree irrorate da sangue.

Nel caso di un confronto aggressivo, al momento della conclusione dovuta al ritiro del perdente, si è osservata una diminuzione della temperatura superficiale del dorso, anche se non vi erano differenze tra i suini vincitori e quelli vinti. Sono invece risultati poco influenti la durata del confronto, il peso corporeo e il sesso di partecipanti. Dato che il calo della temperatura alla conclusione del confronto è risultato indipendente dallo sforzo fisico necessario per vincere o per difendersi, la vasocostrizione osservata mediante la termografia può essere il risultato di uno stress psicologico piuttosto che quello di un adattamento fisiologico. Tale esito, evidenziato grazie all'applicazione termografica, fornisce nuovi elemen-

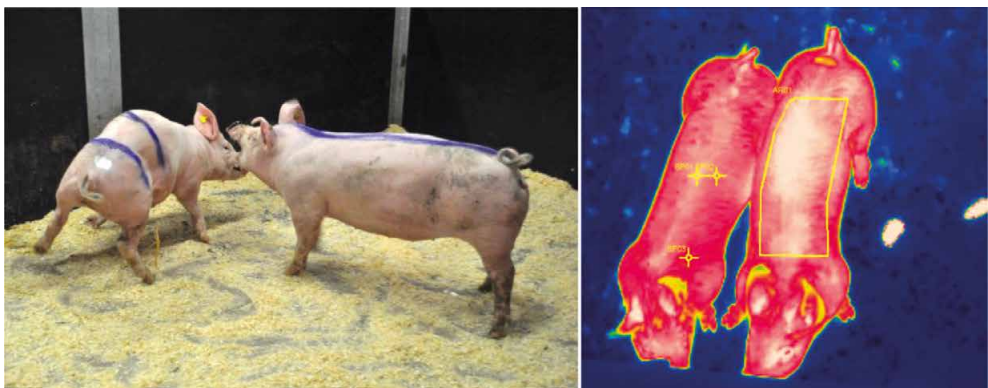


Foto 4 – Confronto tra suini in prova e relativa immagine termografica (Boileau et al. (2020)).

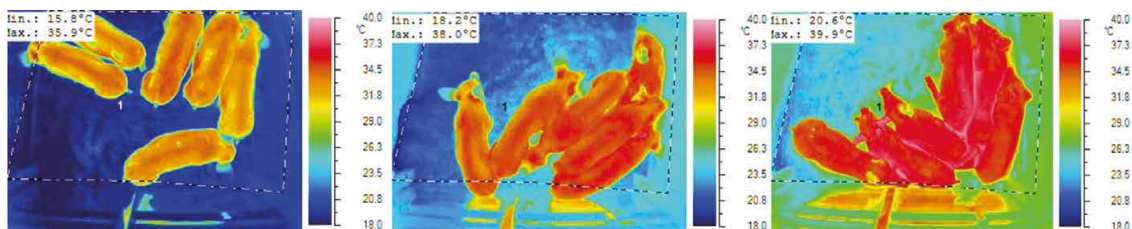


Foto 5 – Diverso stato termico dei suinetti rilevato durante il trasporto all'interno dell'automezzo (Nanni Costa et al., 2012).

ti per valutare in maniera più approfondita il comportamento aggressivo in termini di benessere animale e di risposta fisiologica a tali comportamenti.

Relazione con la temperatura ambientale e valutazione dello stress da caldo durante il trasporto

Loughmiller et al. (2001) hanno messo in relazione le variazioni di temperatura ambientale ottenute all'interno di una camera climatica con la temperatura cutanea superficiale di suini inoculati con patogeni e di suini sani. In particolare, la temperatura superficiale di questi ultimi è risultata crescere linearmente con l'aumentare della temperatura ambientale.

La termografia è stata utilizzata da Nanni Costa et al. (2012) per rilevare in continuo la temperatura cutanea di alcuni suinetti durante due trasporti di lunga durata, pari a 14 ore, al fine di valutare le relazioni con la temperatura ambientale all'interno del veicolo. Lo studio ha permesso non solo di quantificare l'incremento della temperatura superficiale in risposta all'innalzarsi di quella ambientale ma anche di evidenziare una relazione lineare tra la temperatura della cute e quella ambientale all'interno del veicolo. Infatti, ad un aumento di 1 °C all'interno del mezzo è corrisposto un incremento della temperatura massima della cute di 0,2 °C. Tale relazione lineare è risultata analoga a quella rilevata da Laughmiller et al. (2001) nello studio sopracitato.

APPLICAZIONE DELLA TERMOGRAFIA NELLE FASI DI MACELLAZIONE

Previsione dello stress pre-macellazione e della qualità della carne

Warris et al. (2006), al fine di individuare i suini che mostravano segni di stress prima della macellazione, hanno misurato mediante termografia la temperatura dell'orecchio in tre posizioni diverse e l'hanno correlata con la temperatura del sangue rilevata con un termometro ad infrarossi. Sono stati determinati anche i livelli ematici di cortisolo e di Creatinichinasi, utilizzati come indicatori del livello di stress presentato dagli animali. La correlazione tra le temperature dell'orecchio e quella del sangue è risultata statisticamente significativa ma bassa ($r = +0,11$). Più elevati sono risultati i coefficienti di correlazione tra la temperatura dell'orecchio ed i livelli di Creatinichinasi ($r = +0,55$), mentre il cortisolo è risultato correlato con la temperatura media del sangue. Ciò ha confermato che i suini con un livello di stress più elevato presentavano le temperature più elevate.

Weschenfelder et al. (2013) hanno misurato, mediante la termografia, la temperatura oculare in suini posti nel restrainer di un sistema automatico di stordimento elettrico prima della scarica. Dallo studio è emerso che la temperatura oculare misurata appena prima dello stordimento è correlata debolmente sia con il livello di lattato ematico che con le misure impiegate nella valutazione della qualità della carne. Probabilmente, le condizioni poco agevoli di ripresa posso-

no aver influito sulla misura della temperatura oculare rilevata nell'esperimento, la quale non è risultata in grado di fornire una sufficiente previsione dei parametri rilevabili post mortem.

Sicuramente la termografia può essere utilizzata per individuare i suini che presentano una temperatura anormalmente alta all'arrivo nelle stalle di sosta (Flores-Peinado et al., 2020). Ovviamente questa condizione può essere riconosciuta senza l'ausilio di una termocamera, ma si può immaginare l'impiego di tale dispositivo su gruppi numerosi di suini che vengono scaricati ed avviati verso le aree di sosta, in particolare in ambienti caratterizzati da condizioni ambientali sfavorevoli quali alti livelli di temperatura e di umidità relativa.

Sono stati effettuati numerosi studi sull'uso della termografia a infrarossi per prevedere la qualità finale della carne suina. Gariepy et al. (1989) hanno valutato post mortem la qualità della carne di suini con alti valori di temperatura rilevati con la termografia prima dello stordimento. Sulla base del colore e della ritenzione idrica, le carni dei suini esaminati sono state classificate come PSE (pallide soffici, essudative), normali e DFD (scure, sode e asciutte). I valori termografici registrati *in vivo* non hanno permesso di prevedere le carni PSE o DFD, ma all'aumentare della temperatura superficiale del dorso dei suini esaminati si è riscontrato un aumento nella frequenza dei difetti relativi alla qualità della carne.

Lawrence et al. (2001) hanno condotto un esperimento classificando gli animali come "caldi" o "normali" in base alla temperatura della regione lombare rilevata con una camera termografica e sottoposti a durate diverse di sosta al macello. Nei suini sottoposti ad un periodo di riposo compreso tra 1 e 4 ore, i suini "caldi" hanno mostrato un colore più chiaro del muscolo, mentre non sono state rilevate differenze per il pH e per la capacità di ritenzione idrica. Nei suini che hanno riposato una notte (12-16 h), le differenze nella qualità della carne tra suini "caldi" e "normali" sono scomparse. Il recupero dallo stress precedente prima dello stordimen-

to ha ridotto le differenze tra gli animali e di conseguenza l'efficacia della termografia nel prevedere la qualità della carne.

Schaefer et al. (1989) hanno studiato l'impiego della termografia nella misura della temperatura superficiale di suini esenti, eterozigoti e omozigoti per l'allele recessivo del gene Alotano. Le immagini sono state scattate sulla superficie dorsale e laterale dei suini nella stalla di sosta e sulla mediana esterna ed interna della mezzena a 45 minuti dopo la morte. Sebbene l'analisi termografica non abbia mostrato differenze tra i genotipi, sono state osservate piccole aree localizzate con temperature più elevate sulla superficie dorsale di suini omozigoti per l'allele recessivo del gene Alotano. Indipendentemente dal genotipo, i suini con temperature laterali medie più basse hanno presentato carni che tendevano ad avere una peggiore ritenzione e un colore più chiaro. Dalla prova è emersa la necessità di identificare i siti anatomici più importanti sul corpo dell'animale, gli intervalli di temperatura più utili per la registrazione di immagini termiche e le condizioni ambientali e di movimentazione più adeguate a realizzare un uso più efficace della termografia a infrarossi nella previsione della qualità della carne suina.

Vista la complessità delle condizioni in cui è possibile effettuare la ripresa termografica, la loro definizione è tutt'ora oggetto di studio. Recentemente, Rocha et al. (2019) hanno cercato di individuare i siti migliori sul corpo del suino per le misurazioni termografiche finalizzate all'identificazione delle maggiori variazioni di temperatura superficiale della cute in risposta a due modalità di movimentazione dai box alla rampa (calma e brusca) e ad un trasporto di 40 minuti. Oltre all'impiego della termocamera, nella prova sono stati utilizzati alcuni indicatori di stress quali il dosaggio del cortisolo salivare, la frequenza cardiaca e la temperatura rettale.

Le regioni orbitali e quella posta alla base posteriore dell'orecchio hanno presentato i migliori coefficienti di correlazione con il cortisolo salivare ($r = +0,49$ e $r = +0,50$, rispettivamente), risultando i punti più affidabili per misurare la temperatura della super-

ficie corporea. Tuttavia, a causa delle basse o moderate correlazioni con altri indicatori fisiologici, gli Autori hanno concluso che la termografia non può essere utilizzata come il solo mezzo per valutare le condizioni fisiologiche dei suini in risposta allo stress e deve essere affiancata da altri indicatori per avere una valutazione affidabile dello stato dei suini dopo i trattamenti pre-macellazione.

Analogamente allo studio di Lawrence et al. (2001), Dikeman et al. (2003) hanno utilizzato la termografia per individuare i suini con una temperatura cutanea superficiale più calda o più fredda del normale durante la sosta pre-macellazione. Sono stati esaminati più di 500 suini in diverse condizioni ambientali comprese tra -2 e +26 °C. Quando la temperatura ambientale si è collocata tra +6 e +14 °C, i suini definiti “caldi”, ossia con una temperatura superiore a 1,3 deviazioni standard dalla media, hanno presentato carni con minore capacità di ritenzione idrica, mentre i suini “freddi”, con una temperatura inferiore a 1,3 deviazioni standard dalla media, hanno presentato lo stesso difetto ma in presenza di un intervallo di temperatura ambientale tra +21 e +26 °C. Nell'intervallo con temperature ambientali più basse, tra -2 e -1 °C, non sono state riscontrate differenze nella qualità della carne tra i due gruppi di animali. I risultati di questo studio suggeriscono che la termografia può avere un ruolo nel prevedere la qualità finale della carne ma la sua efficacia dipende fortemente dalle condizioni ambientali in cui opera.

Nanni Costa et al. (2007) hanno valutato la possibilità di utilizzare la termografia sulla linea di macellazione per la valutazione della qualità delle cosce destinato alla trasformazione in prosciutti DOP. Le immagini sono

state registrate 20 minuti dopo lo stordimento ed è stata analizzata un'area quadrata situata nel centro della faccia caudale della coscia. Oltre alle misure di valutazione della qualità del muscolo *Semimembranosus*, quali il pH ed il colore, sulle cosce in rifilatura si è proceduto ad una valutazione per la copertura adiposa e per identificare i difetti di venosità e di cute arrossata. La temperatura di entrambi i prosciutti è risultata molto simile e non legata alle variazioni di pH e di colore del muscolo esaminato. Anche i difetti di venatura e di cute arrossata non hanno mostrato alcun legame con la temperatura delle cosce.

Sono invece risultate differenti le temperature superficiali delle cosce in funzione della loro copertura di grasso. Quelle con minor copertura adiposa hanno evidenziato temperature più elevate, mentre quelle con maggior copertura hanno mostrato le temperature più basse, a causa dell'effetto isolante dello strato di adiposo che avvolge la coscia. Il rapporto tra la copertura di grasso e la temperatura della superficie suggerisce che la termografia potrebbe essere un metodo prezioso, veloce e non invasivo per stimarne il grado di adiposità.

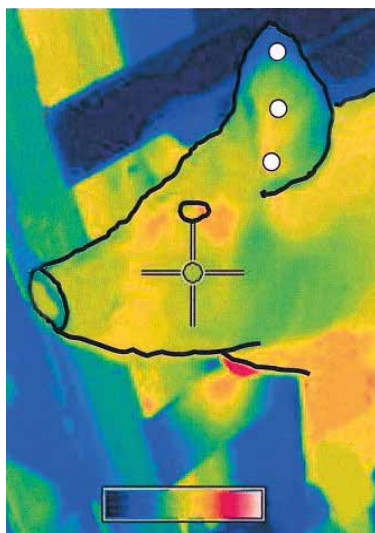


Foto 6 – Immagine termografica di un suino con i tre punti di misura sull'orecchio utilizzati da Warriss et al. (2006).

CONCLUSIONI

Le applicazioni termografiche in suinicoltura includono tutte le fasi dell'allevamento e di gestione degli animali, dalla fecondazione della scrofa alla macellazione dei suini da ingrasso. La versatilità che questa tecnica possiede rappresenta un grande vantaggio nel trovare utili applicazioni in allevamento ma il suo uso necessariamente richiede la conoscenza dei principi su cui si basa e dei fenomeni fisiologici che deve rilevare. Non è

quindi una tecnica utilizzabile in tutti i contesti e valida per tutte le condizioni. Solo in alcune di queste la termografia può dare un contributo significativo nell'evidenziare fenomeni importanti. Sicuramente in un futuro non lontano, altre applicazioni verranno suggerite e lo sviluppo delle tecnologie permetterà una sua integrazione nei sistemi di precisione adottabili in campo suinicolo.

BIBLIOGRAFIA

- Boileau A., Farish M., Turner S.P., Camerlink I. (2019). Infrared thermography of agonistic behaviour in pigs. *Physiology & Behavior*, 210, 112637.
- Bashiruddin J.B., Mann J., Finch R., Zhang Z., Paton D. (2006). Preliminary study of the use of thermal imaging to assess surface temperatures during foot-and-mouth disease virus infection in cattle, sheep and pigs. Report of the 2006 Session of the Research Group of the Standing Technical Committee of the European Commission for the Control of Foot-and-Mouth Disease (Appendix 46), 2006 17–20 October; Paphos, Cyprus. Rome: Food and Agriculture Organization; 2006. p. 304-8.
- Cook N., Chabot B., Liu T, Froehlich D., Basarab J., Juarez M. (2020) Radiated temperature from thermal imaging is related to feed consumption, growth rate and feed efficiency in grower pigs. *Journal of Thermal Biology*, 94, 102747.
- Dikeman, M., Spire, M., Hunt, M., Lowak, S., 2003. Infrared Thermography of Market Hogs as a Predictor of Pork Quality. National Pork Board. Research Report NP B #02-025, pp. 1-9.
- Friendship R., Poljak Z., McIntosh K. (2009). Use of infrared thermography for early detection of disease causing sudden death in a swine finishing barn. Proceedings of the 28th Annual Centralia Swine Research Update, 28th January 2009, Ontario, Canada, pp. I27-I28.
- Flores-Peinado S., Mota-Rojas D., Guerrero-Legarreta I., Mora-Medina P., Cruz-Monterrosa R., Gómez-Prado J., Hernández M.G., Cruz-Playas J., Martínez-Burnes J. (2020). Physiological responses of pigs to preslaughter handling: infrared and thermal imaging applications, *International Journal of Veterinary Science and Medicine*, 8:1, 71-84.
- Gariépy C., Amiot J., Nadai S. (1989). Antemortem detection of PSE and DFD by Infrared Thermography of pigs before stunning. *Meat Science*, 25, 37-41.
- Johnson S.R., Dunbar M.R. (2010). Infrared thermography: its use and application for detecting infectious diseases in wildlife and domestic animals. In: *InfraMation 2010 Proceedings: 2010; Las Vegas. 2010. p. 102-1-8.*
- Lawrence, T. E., Spire, M. F., Dikeman, M. E., Hunt, M. C., Hogge, S. B., James B. W. (2001). Utilizing Infrared Thermography to Predict Pork Quality. *Swine Day, 2001*, 131-134.
- Loughmiller J.A., Spire M.F., Dritz S.S., Fenwick B.W., Hosni M.H., Hogge S.B. (2001). Relationship between mean body surface temperature measured by use of infrared thermography and ambient temperature in clinically normal pigs and pigs inoculated with *Actinobacillus pleuropneumoniae*. *American Journal Veterinary Research*, 62, 676-681.
- Loughmiller J.A., Spire M. F., Tokach M. D., Dritz S. S., Nelssen, J. L., Goodband R. D., Hogge S. B. (2005). An Evaluation of Differences in Mean Body Surface Temperature with Infrared Thermography in Growing Pigs Fed Different Dietary Energy Intake and Concentration. *Journal of Applied Animal Research*, 28, 73-80.
- Lengling, A.; Alfert, A.; Reckels, B.; Steinhoff-Wagner, J.; Büscher, W. (2020). Feasibility Study on the Use of Infrared Thermography to Classify Fattening Pigs into Feeding Groups According Their Body Composition. *Sensors*, 20, 5221.
- Magnani D, Gatto M, Cafazzo S, Stelletta C, Morgante M, Costa L. (2011). Difference of surface body temperature in piglets due to the backtest and environmental condition. In: *Animal Hygiene and*

- Sustainable Livestock Production. Proceedings of the XVth International Congress of the International Society for Animal Hygiene. Vienna, Austria: Tribun EU. (2011). p. 1029-1032.
- Islam, Md. M., Ahmed, S. T., Mun, H-S, Bostami, A. B. M. R., Kim, Y-J., & Yang, C-J. (2015). Use of thermal imaging for the early detection of signs of disease in pigs challenged orally with *Salmonella typhimurium* and *Escherichia coli*. *African Journal of Microbiology Research*, 9(26), 1667-1674.
- Muns R., Nuntapaitoon M., Tummaruk P. (2016). Non-infectious causes of pre-weaning mortality in piglets. *Livestock Science*, 184, 46-57.
- Nanni Costa L., Stelletta C., Cannizzo C., Giancesella M., Lo Fiego D.P., Morgante M. (2007). The use of thermography on the slaughter-line for the assessment of pork and raw ham quality. *Italian Journal of Animal Science*, 6 (Supplement 1), 704-706.
- Nanni Costa L., Redaelli V., Magnani D., Cafazzo S., Amadori M., Razzuoli E., Verga M., Luzzi F. (2012). *Preliminary study on the relationship between skin temperature of piglet measured by infrared thermography and environmental temperature in a vehicle in transit*, in: *Veterinary Science. Current Aspects in Biology, Animal Pathology, Clinic and Food Hygiene*, Berlin, Springer-Verlag, 2012, pp. 193-198.
- Rocha L.M., Devillers N., Maldague X., Kabemba F.Z., Fleuret J., Guay F., Faucitano L. (2019) Validation of anatomical sites for the measurement of infrared body surface temperature variation in response to handling and transport. *Animals*, 9, 425.
- Schaefer, A.L., S. D. M. Jones, A. C. Murray, A. P. Sather, and A. K. W. Tong. 1989. Infrared thermography of pigs with known genotypes for stress susceptibility in relation to pork quality. *Canadian Journal of Animal Science*, 69, 491-495.
- Schmitt O., O'Driscoll K. (2021). Use of infrared thermography to noninvasively assess neonatal piglet temperature. *Translation Animal Science*, 18, 208.
- Scolari S., Evans R., Knox R., Tamassia M., Clark S. (2009). Determination of the relationship between vulvar skin temperatures and time of ovulation in swine using digital infrared thermography. *Reproduction, Fertility and Development*, 22, 178-178.
- Scolari S., Clark S., Knox R., Tamassia M. (2011). Vulvar skin temperature changes significantly during estrus in swine as determined by digital infrared thermography. *Journal of Swine Health Production*, 19, 151-155.
- Sykes D.J., Couvillion J.S., Cromiak A., Bowers S., Schenck E., Crenshaw M., Ryan P.L. (2012). The use of digital infrared thermal imaging to detect estrus in gilts. *Theriogenology*, 78, 147-152.
- Simões V., Lyazrhi F., Picard-Hagen N., Gayraud V., Martineau G., Waret-Szkuta A. (2014). Variations in the vulvar temperature of sows during proestrus and estrus as determined by infrared thermography and its relation to ovulation. *Theriogenology*, 82, 1080-1085.
- Soerensen D. D., Clausen S., Mercer J. B., and Pedersen L. J. (2014). Determining the emissivity of pig skin for accurate infrared thermography. *Computer Electronic Agriculture*, 109, 52-58.
- Warriss P., Pope S., Brown S., Wilkins L., Knowles T. (2006). Estimating the body temperature of groups of pigs by thermal imaging. *Veterinary Record*, 158, 331-334.
- Wendt M., Eickhoff K., Koch R. (1997). Die Messung der Hauttemperatur als Methode zur Erkennung fieberhaft erkrankter Schweine. *Deut. Tierärztl. Woch.*, 104, 29-33.
- Weschenfelder A.V., Saucier L., Maldague X., Rocha L.M., Schaefer A.L., Faucitano L. (2013). Use of infrared ocular thermography to assess physiological conditions of pigs prior to slaughter and predict pork quality variation. *Meat Science*, 95, 616-620.

ZOOTECNIA DI PRECISIONE E SENSORISTICA PER LA SALUTE DELLA MAMMELLA E LA QUALITÀ DEL LATTE

MADDALENA ZUCALI¹, ANNA SANDRUCCHI¹, ALFONSO ZECCONI²

¹ *Dipartimento di Scienze Agrarie e Ambientali-Produzione, Territorio, Agroenergia
Via Celoria 2, 20133, Milano*

² *Dipartimento di Scienze Biomediche, Chirurgiche e Odontoiatriche – Sezione One Health,
Via Pascal 36, 20133 Milano*

RIASSUNTO

L'uso di tecnologie innovative in sala di mungitura per il monitoraggio in continuo della produzione e qualità del latte e della sanità della mammella (Mungitura di Precisione) può avere un effetto positivo sulla redditività degli allevamenti, sulla sanità e il benessere degli animali e sulla sicurezza alimentare. Poter avere a disposizione la registrazione di parametri ad ogni mungitura, per singolo animale, permette di avere informazioni utili per ottimizzare il processo di mungitura nel suo complesso (ad esempio modificando i tempi destinati alla routine di mungitura o il livello di vuoto) oppure per intervenire in caso di anomalie legate ai dati di un singolo animale. Gli operatori del settore considerano di grande interesse poter avere informazioni relative al livello produttivo, alla sanità della mammella ed al ciclo riproduttivo degli animali allevati, poiché tali parametri hanno un peso fondamentale sull'economia e sulla sostenibilità produttiva dell'azienda.

Per quanto riguarda la valutazione della sanità della mammella sono disponibili diversi tipi di sensore che misurano parametri utili ad individuare bovine a rischio. I parametri misurati da sensori più noti e diffusi sono: conducibilità elettrica, L-Lattato deidrogenasi, colore e cellule somatiche. A seconda della situazione aziendale e del singolo animale monitorato, è necessario definire degli obiettivi e dei requisiti di attendibilità dei test utilizzati (o dei parametri registrati) in modo da poter delineare la strategia migliore da seguire.

Poter identificare precocemente, tramite l'informazione ottenuta da un sensore montato in sala di mungitura, problematiche legate alla sanità della mammella o alla produzione latte permette di agire tempestivamente riducendo il rischio di perdite produttive e di efficienza che andrebbero a pesare inevitabilmente anche sull'impatto ambientale della produzione di latte. Nella valutazione di impatto ambientale, effettuata con metodo Life Cycle Assessment, la riduzione degli output (latte), data ad esempio da un incremento del latte scartato a causa di una mastite, porta inevitabilmente ad un incremento delle emissioni inquinanti per unità di prodotto.

Gli impianti di mungitura sono e dovranno sempre più diventare 'sistemi di monitoraggio' nei quali i dati provenienti da più strumentazioni vengono tradotti in un linguaggio comune, integrati ed elaborati insieme per dare all'allevatore risposte più complete e attendibili, sfruttando le possibili sinergie tra le diverse informazioni.

Parole chiave

Mungitura, sanità della mammella, latte, sensori.

INTERESSE E DIFFUSIONE DELLA PLF NELL'AMBITO DELLA SANITÀ DELLA MAMMELLA E DELLA QUALITÀ DEL LATTE

La Zootecnia di Precisione (Precision Livestock Farming – PLF) è uno strumento che apre nuove e significative opportunità per migliorare la sostenibilità e l'efficienza degli allevamenti. In particolare, l'implementazione di tecnologie innovative in sala di mungitura per il monitoraggio in continuo della produzione e qualità del latte e della sanità della mammella (Mungitura di Precisione) può avere un effetto positivo sulla redditività degli allevamenti, sulla sanità e il benessere degli animali, sulla sicurezza alimentare e può inoltre contribuire a ridurre l'impatto ambientale della produzione del latte (fig 1).

L'ambito in cui la sensoristica da più tempo viene adottata nell'azienda da latte è la mungitura; la mungitura robotizzata ne è l'esempio principale ma sono sempre più diffusi sistemi di monitoraggio in automatico di parametri produttivi, sanitari e riproduttivi anche nei sistemi di mungitura convenzionali. A livello italiano, statistiche Istat 2020 (Sermoneta, 2021), evidenziano che circa il 25% delle aziende da latte possiede un sistema per il monitoraggio della mungitura.

Molti sono i parametri che i moderni impianti di mungitura riescono a registrare; nella figura seguente (fig 2) sono riportati i principali. Poter avere informazioni ad ogni mungitura, per singolo animale, permette di avere informazioni utili per ottimizzare il processo di mungitura nel suo complesso (ad esempio modificando i tempi destinati alla routine di mungitura o il livello di vuoto) oppure per intervenire in caso di anomalie legate ai dati di un singolo animale. È da sottolineare che la capacità predittiva, parlando ad esempio degli aspetti legati alla sanità della mammella, è molto variabile a seconda del parametro scelto e della tecnologia applicata. Per questo motivo, e per semplificare la lettura dell'informazione da parte degli allevatori, spesso alcuni sensori restituiscono un dato approssimativo (ad esempio una semplice classificazione in un range alto/basso), in modo da fornire un primo campanello d'allarme che necessita comunque di una conferma diagnostica in base alle diverse casistiche.

Poiché il costo dei diversi sensori in grado di registrare i parametri presenti in figura 2 è molto diverso, per ogni realtà aziendale va considerato il corretto livello tecnologico (e quindi di investimento) da adottare; ad esempio risultati derivanti da bioindicatori (L-Lattato deidrogenasi-LDH) sono più affi-

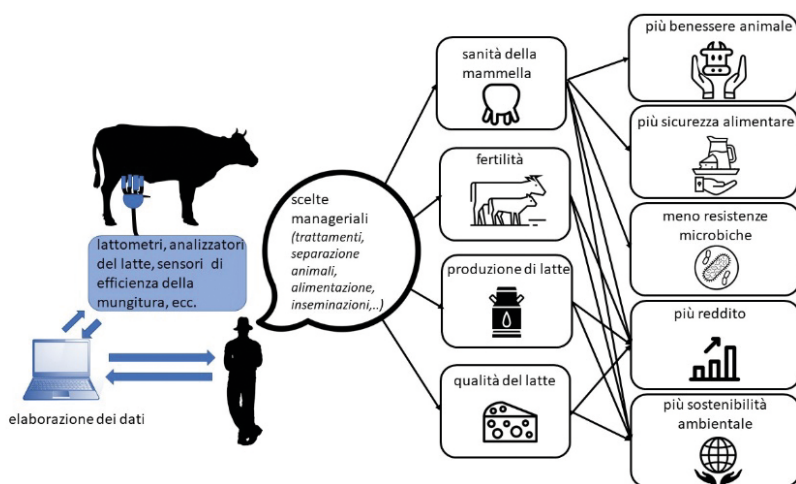


Figura 1 – Aspetti coinvolti nella mungitura di precisione.

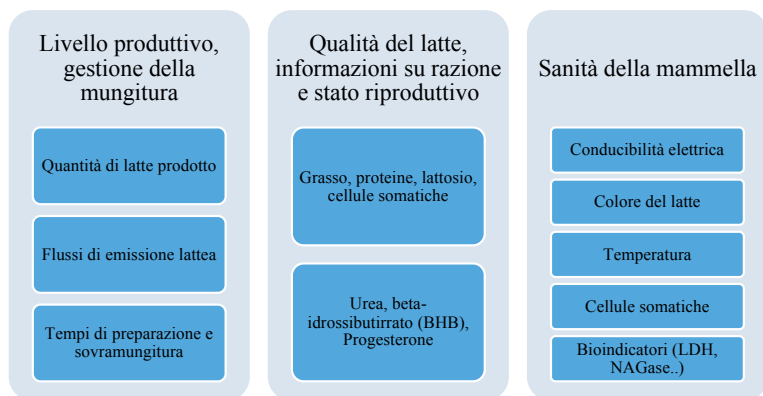


Figura 2 – Principali parametri registrabili nel corso della mungitura.

dabili di quelli basati su una variazione di conducibilità nel latte ma quest'ultimo è sicuramente una valutazione più economica, anche se meno precisa.

Da uno studio di Utriainen et al. (2019) è emerso che la motivazione principale ad investire in sensoristica in allevamento è il miglioramento della possibilità di individuare problemi di natura sanitaria e calori (65% degli allevatori con sala e 82% allevatori con robot di mungitura), mentre la seconda motivazione è legata all'ottimizzazione del livello produttivo aziendale (51% degli allevatori intervistati).

Entrando più nel dettaglio riguardo alle tipologie di parametri registrati negli allevamenti da latte, una differenza importante è stata riscontrata da Utriainen et al. (2019) tra aziende con robot di mungitura e con impianto tradizionale in sala. Nel primo caso infatti il parametro registrato nella quasi totalità delle aziende è stata la conducibilità elettrica, mentre in aziende con impianto di mungitura in sala i parametri più frequentemente registrati sono stati la temperatura del latte e test basati su bioindicatori (LDH, NAGase).

Secondo un recente studio svolto in Pianura Padana (Abeni et al., 2019), i parametri che con maggior frequenza vengono registrati dagli impianti di mungitura sono il livello produttivo e la conducibilità elettrica. Ci sono poi altri parametri il cui monitorag-

gio in continuo è al momento meno diffuso, ma che risultano di particolare interesse per gli operatori del settore: le cellule somatiche e i componenti relativi alla qualità nutrizionale e tecnologica del latte (grasso, proteine, lattosio). Gli allevatori sono particolarmente interessati al monitoraggio di quei parametri che sono correlati con la qualità del prodotto e che quindi ne determinano il valore economico.

Relativamente al monitoraggio dell'emissione latte, a seconda del tipo di sensoristica presente sulla macchina mungitrice, è possibile avere informazioni sui flussi (minimo, medio e massimo) e sulla durata delle diverse fasi di emissione (fase ascendente, di plateau e discendente) e sull'andamento continuo o meno dell'emissione latte (bimodalità). Da uno studio effettuato su un campione di animali munti in sala di mungitura (Tamburini et al., 2009) è stato evidenziato che la modalità di emissione latte è correlata alla salute della mammella; in particolare lo studio ha evidenziato che il rischio di avere un incremento del contenuto di cellule somatiche aumenta del 60% se la durata della fase di plateau è inferiore al 25% del tempo totale di emissione del latte e del 50% se il flusso massimo è superiore a 4 kg/min. Nella figura 3 vengono mostrate 2 curve di emissione del latte registrate con un flussometro elettronico portatile, ma che mostra parametri registrabili anche con sensori montati su-

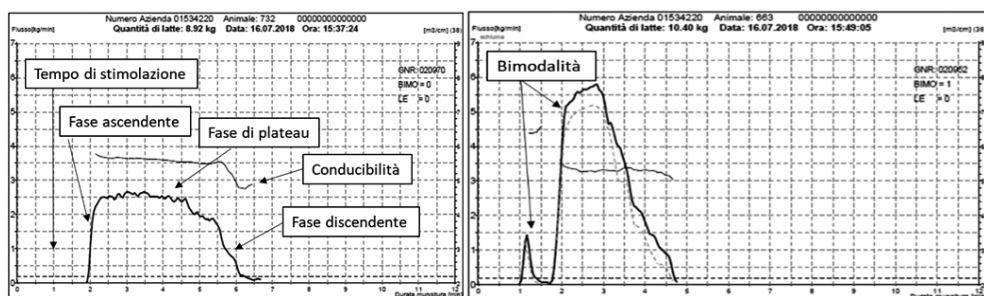


Figura 3 – Esempi di curve di emissione del latte, continua a sinistra, bimodale a destra.

gli impianti di mungitura. Una curva simile a quella di sinistra (fig 3), caratterizzata da un flusso massimo non eccessivo e da una elevata durata della fase di plateau, è quella ideale per minimizzare il rischio di insorgenza di problemi legati alla sanità della mammella. Nella curva a destra viene riportato un esempio di curva bimodale, un'emissione del latte discontinua può provocare stress all'animale, mungitura a vuoto e conseguentemente un maggior rischio per l'integrità dei capezzoli e la salute della mammella.

I robot di mungitura sono una realtà sempre più diffusa a livello italiano e mondiale, sia per realtà aziendali a conduzione familiare che per realtà di dimensioni maggiori. Una mungitura automatizzata può sicuramente portare diversi vantaggi sia a livello gestionale che di organizzazione del lavoro. D'altra parte disporre di molte informazioni registrate da sensori e da meno informazioni legate alla presenza dell'uomo rende necessario un approccio nuovo e moderno della gestione aziendale.

Per quanto riguarda il monitoraggio della sanità della mammella, ad esempio, la mancanza di personale che due volte al giorno può valutare visivamente la stessa, porta alla necessità di avere parametri che possano fare da campanello di allarme per poter intervenire tempestivamente in caso di problemi legati alla sanità della mammella.

I dati provenienti dai robot di mungitura permettono di valutare variazioni in termini di conducibilità elettrica o di flusso, per singolo quarto, dando quindi un'informazione più attendibile e, secondo alcuni studi, mag-

giormente correlata con la presenza di un'affezione mammaria rispetto ai dati aggregati per mammella che si ottengono nella mungitura convenzionale (Khatun et al., 2018). Secondo Inzaghi et al. (under review) in particolare, a seconda del numero di parto della bovina, è possibile identificare una variazione in termini di conducibilità elettrica del quarto mastitico tra 5 e 12 mungiture prima della comparsa di una mastite clinica; in particolare, bovine terzipare e oltre evidenziano un incremento in termini di conducibilità elettrica più precocemente rispetto alle bovine di altre lattazioni.

Un aspetto da sottolineare è il beneficio, a breve e a lungo termine, del poter avere informazioni in continuo della sanità della mammella, tramite parametri come il contenuto di cellule somatiche o la presenza di bioindicatori come LDH nel latte. Un monitoraggio di questo tipo può permettere all'allevatore di intervenire in modo tempestivo sull'animale problematico in modo da evitare o minimizzare le perdite in latte (quantitative e qualitative).

Preservare la salute degli animali può consentire di limitare l'uso di antibiotici, rappresentando una strategia efficace per limitare la presenza di residui di prodotti antimicrobici e loro metaboliti nell'ambiente e di selezione di batteri resistenti che, al momento, rappresentano un grave problema per la salute umana e animale (Österås and Mainar, 2019).

I sensori per il rilevamento in continuo dei parametri compositivi del latte (grasso, proteine, lattosio, urea, ecc.) o della presenza di particolari molecole (β -idrossibutirrato) pos-

sono essere estremamente utili per l'individuazione di anomalie che a loro volta possono essere sintomo di stati patologici o di sbilanciamenti della razione. Ad esempio, il rapporto grasso/proteine del latte può essere utile per l'individuazione precoce di dismetabolie quali la chetosi che porta ad un aumento di tale rapporto per elevata presenza in circolo di acidi grassi non esterificati provenienti dalla mobilizzazione intensa del tessuto adiposo. Anche la concentrazione nel latte di β -idrossibutirrato (un corpo chetonico) è un indicatore di chetosi. Un abbassamento del rapporto grasso/proteine può essere invece sintomo di subacidosi ruminale come conseguenza della riduzione a livello ruminale della produzione di acido acetico, principale precursore del grasso del latte. Il calo della percentuale di lattosio può far sospettare uno stato infiammatorio della mammella mentre l'aumento dell'urea è un indicatore di uno sbilanciamento della razione per eccesso di proteine o carenza di energia.

Altra molecola interessante, che può essere valutata nel latte con sistemi automatici implementati in sala di mungitura, è il progesterone. Il monitoraggio in continuo del contenuto di progesterone del latte può consentire di seguire l'andamento dello stato riproduttivo di ciascun animale, di individuare gli eventi (estro, gravidanza, anaestro,

ecc.) e di conseguire significativi miglioramenti della fertilità della mandria (Adriaens et al., 2018).

Il monitoraggio in mungitura di variabili relative alla sanità della mammella e alla produzione e qualità del latte può consentire, come visto, di seguire numerosi aspetti fisiologici e di individuare anomalie che possono rappresentare campanelli di allarme di possibili stati patologici, dalla mastite alle dismetabolie. Tuttavia al giorno d'oggi la sala di mungitura, ma soprattutto la posta del robot, stanno diventando sempre più i luoghi in cui si concentra anche molta altra sensoristica proprio in ragione della regolarità della frequenza da parte degli animali in produzione. La posta del robot diviene quindi anche luogo elettivo per lo scarico dei dati degli attivometri e per il rilievo dei consumi di concentrato, delle zoppie, del Body Condition Score, del peso, ecc., trasformandosi in una sorta di postazione per il check-up giornaliero degli animali in lattazione. Già adesso si può constatare che gli insiemi di sensori implementati nelle sale di mungitura e soprattutto nei robot rappresentano gli esempi più avanzati di veri e propri 'sistemi di monitoraggio', nei quali i dati provenienti da più strumentazioni vengono tradotti in un linguaggio comune, integrati ed elaborati insieme per dare all'allevatore risposte più

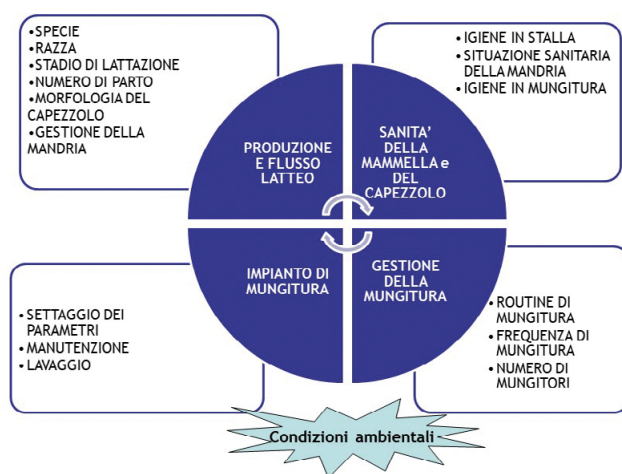


Figura 4 – La complessità del 'sistema mungitura'.

complete e attendibili, sfruttando le possibili sinergie tra le diverse informazioni. Questa è la strada verso cui è necessario muoversi per superare la frammentazione che caratterizza attualmente molta della sensoristica presente nelle stalle e per offrire all'allevatore una visione facilmente leggibile, rapida e completa delle condizioni degli animali.

Il 'sistema mungitura' inoltre è un sistema complesso (fig 4) che va monitorato tenendo conto della molteplicità dei fattori che lo compongono, sia di natura endogena (razza, stadio di lattazione, numero di parto) che esogena (routine di mungitura, numero di mungiture, settaggio e manutenzione dell'impianto di mungitura).

Per comprendere correttamente le informazioni provenienti da sensori, montati su impianti di mungitura, che vogliono agevolare il monitoraggio della produzione, della sanità della mammella e delle condizioni degli animali, vanno anche considerati fattori endogeni legati all'animale e fattori gestionali come ad esempio l'igiene in mungitura e l'igiene della stalla. Per questo motivo, la registrazione di un unico parametro non è sufficiente per dare informazioni attendibili. Il monitoraggio in continuo del livello produttivo, ad esempio, può dare informazioni legate alla sanità dell'animale, all'adeguatezza della razione ma è fortemente influenzato dallo stadio di lattazione e dal numero di parto dell'animale in oggetto. Inoltre le condizioni ambientali (ad es. temperatura, umidità) influenzano l'intero sistema rendendo ancora più complessa la sua interpretazione.

NUOVI APPROCCI PER L'APPLICAZIONE DEI SENSORI NEL CONTROLLO DELLA SANITÀ DELLA MAMMELLA

La tecnologia è sempre più presente nella gestione del moderno allevamento di bovine da latte. È però doveroso sottolineare che l'utilizzo dei sensori può semplificare il lavoro dell'uomo, ma il ruolo di quest'ultimo è e rimane fondamentale. Infatti, la macchina misura, talvolta elabora, ma è l'uomo che

deve prendere le decisioni appropriate (Sangiorgi et al., 2014).

La figura 5 riassume gli elementi di un sistema basato sui sensori (Rutten et al., 2014). I sensori misurano lo stato (di salute, fisiologico, produttivo ecc.) delle bovine. Queste rilevazioni e gli eventi di interesse rappresentano la base dei dati che permette di definire un sistema di allarme basato su una deviazione dalla normalità che potrebbe essere predittiva di una malattia o di uno stato particolare (es. estro). In generale, la presenza di un allarme non rappresenta quindi una diagnosi, questa può essere fatta solo dopo aver effettuato una procedura diagnostica appropriata. La diagnosi può essere combinata con altre conoscenze (es. informazioni economiche) per proporre indicazioni (supporto decisionale). Il supporto decisionale può essere molto complesso ma può anche essere rappresentato da semplici procedure operative standard che indicano cosa fare una volta che la diagnosi è stata fatta.

I sensori e la sanità della mammella

Come detto in precedenza i più noti e diffusi parametri misurati dai sensori in relazione alla sanità della mammella sono: conducibilità elettrica, L-Lattato deidrogenasi, colore e cellule somatiche (misurate sia direttamente sia indirettamente) (Sangiorgi et al., 2014; Zeconi and Cipolla, 2020).

Recentemente una specifica task force dell'International Dairy Federation (FIL-IDF) ha affrontato il problema dei sensori nell'ambito della valutazione della sanità della mammella in un'ottica gestionale e ha definito quattro diversi ambiti di azione (Hogeveen et al., 2021a; Hogeveen et al., 2021b):

1. Bovine che necessitano di un'azione immediata
2. Bovine che non richiedono un'azione immediata
3. Bovine che richiedono attenzione al momento della messa in asciutta
4. Monitoraggio dello stato sanitario della mammella a livello di allevamento

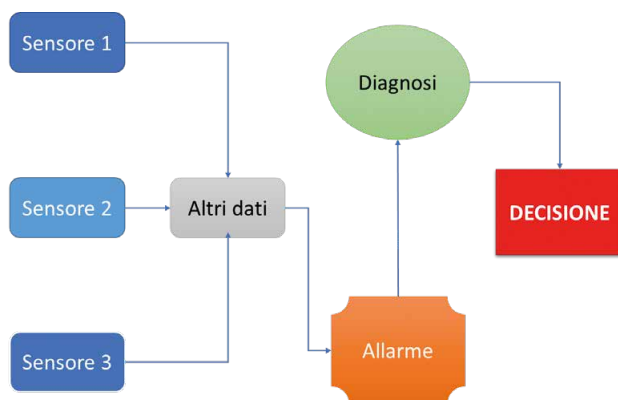


Figura 5 – Elementi di un sistema basato su sensori modificato da Zecconi and Cipolla (2020).

Per ciascuno di questi quattro ambiti sono stati definiti gli obiettivi, i requisiti ottimali di accuratezza, e le attività gestionali associate a quanto rilevato dai sensori. Vi riassumiamo brevemente alcune delle conclusioni di questo lavoro multidisciplinare rimandandovi al materiale pubblicato per maggiori dettagli (Hogeveen et al., 2021a; Hogeveen et al., 2021b).

Bovine che necessitano di un'azione immediata

La mastite clinica grave, generalmente a carattere acuto, compare nello spazio di poche ore e richiede una rapida identificazione per poter intervenire altrettanto rapidamente così da aumentare le probabilità di guarigione. I sensori attualmente disponibili che rilevano alterazioni del latte o, comunque, modificazioni della sua composizione durante la mungitura, ma sarebbe utile associare altri sistemi in grado di segnalare comportamenti anomali (eccessivo tempo a riposo, mancato passaggio per la mungitura in presenza di Robot di mungitura) così da ridurre il tempo tra comparsa dell'evento e relativo allarme. La task force FIL-IDF ha indicato per tali sensori la necessità di avere queste performance diagnostiche:

1. una sensibilità >95% e il più vicino possibile al 100% per individuare la maggior parte dei casi

2. una specificità almeno del 99% per minimizzare i falsi allarmi
3. una finestra di rilevamento molto stretta (≤ 12 ore)

Le bovine che vengono indicate per avere una potenziale mastite clinica grave devono ricevere immediata attenzione dal personale di stalla che dovrà confermare la presenza dei segni clinici di tale mastite e intervenire secondo le indicazioni del veterinario aziendale.

Bovine che non richiedono un'azione immediata

Le forme di mastite più frequenti in un allevamento sono quelle subcliniche e quelle cliniche, forme che rappresentano anche la maggior fonte di perdite produttive (Zecconi and Cipolla, 2020). Tali forme non richiedono un intervento rapido e, d'altro canto, è necessario che la loro presenza sia confermata da metodi diagnostici precisi come l'esame batteriologico (convenzionale e molecolare) poiché queste patologie richiedono spesso un intervento terapeutico a base di antibiotici (Zecconi and Cipolla, 2019). In base a queste premesse la diagnosi basata su sensori secondo task force FIL-IDF deve avere:

1. una sensibilità >80% per poter identificare la maggior parte delle bovine con tali patologie

2. una specificità superiore al 99,5% per evitare il più possibile i falsi allarmi
3. una finestra di valutazione/intervento di 7 giorni, finestra che non pregiudica l'efficacia di un eventuale trattamento terapeutico e che, nel caso si verifichi una guarigione spontanea (evenienza che riguarda il 50% dei casi; Zecconi and Cipolla, 2020) si possa evitare il trattamento antibiotico.

A livello gestionale sarà necessario focalizzarsi sull'identificazione dei fattori di rischio e di procedure che permettano di verificare quanto detto prima (diagnosi batteriologica/verifica guarigione spontanea).

Bovine che richiedono attenzione al momento della messa in asciutta

La messa in asciutta delle bovine è una fase molto delicata della produzione e prevede una corretta gestione. All'interno di questa gestione fino a poco tempo fa si consigliava la terapia antibiotica endomammaria a tappeto a tutte le bovine (TerTap). La necessità di un uso prudente degli antimicrobici al fine di contribuire alla riduzione del fenomeno dall'antibiotico-resistenza e l'evidenza che negli allevamenti meglio gestiti la TerTap sia poco efficiente e poco sostenibile, ha aperto la strada alla terapia c.d. selettiva, dove solo gli animali definiti ammalati possono essere trattati con antibiotici (Zecconi et al., 2020; Zecconi et al., 2018; Zecconi and Cipolla 2019). La selezione di questi animali potrebbe essere facilitata dalle informazioni fornite dai sensori che a tale scopo dovrebbero avere queste caratteristiche:

1. una sensibilità >95% per evitare il più possibile la presenza di falsi-positivi che subirebbero un trattamento antibiotico indesiderato
2. una specificità >95% per evitare il più possibile la presenza di falsi-negativi e quindi animali che non riceverebbero il necessario trattamento antibiotico
3. in questo caso non è necessario definire una finestra di valutazione, poi-

ché questa è strettamente legata al tipo di parametro/i misurato/i dai sensori e quindi può variare da una o più settimane all'intera lattazione.

Anche in questo caso sarebbe utile applicare procedure diagnostiche precise che confermino la presenza di infezioni mammarie che richiedono un trattamento antibiotico.

Monitoraggio dello stato sanitario della mammella a livello di allevamento

In questo ambito le informazioni che sensori forniscono dovrebbero servire a definire lo stato di salute e, anche, di benessere della mandria, fornendo quindi dati opportunamente elaborati utili a monitorare nel tempo la mandria stessa. Per questo scopo i sensori secondo la task force FIL-IDF dovrebbero avere:

1. una sensibilità >80% in modo da consentire di poter effettuare eventuali interventi correttivi su bovine che realmente richiedano tali interventi
2. una specificità >99% per evitare di avere un numero elevato e poco gestibile di bovine in allarme, in realtà sane, che andrebbero a sottostimare il reale stato di salute/benessere della mandria
3. la finestra di valutazione dovrebbe essere su base settimanale o potrebbe essere il risultato della media di più giorni.

L'aumento delle dimensioni degli allevamenti, delle loro produzioni, ma la necessità di avere controlli sempre più precisi e puntuali sulla qualità e sulla salubrità delle produzioni sono tutti fattori che rendono l'applicazione di sistemi di rilevamento basato su sensori estremamente interessanti per l'allevatore di bovini da latte. La tecnologia avanza molto rapidamente ed è spesso molto accattivante, ma non va dimenticato che questa viene applicata su sistemi biologici molto complessi e che un "allarme", potenzialmente, richiede interventi che possono avere conseguenze molto negative sulla

salute e sul benessere sia degli animali sia dell'uomo. Per questo motivo è necessario che la crescita tecnologica sia accompagnata da un maggior rigore e precisione dei sistemi di valutazione dell'accuratezza di tali tecnologie a salvaguardia dell'intera filiera di produzione del latte.

RELAZIONI TRA PLF PER LA PRODUZIONE E LA SALUTE DELLA MAMMELLA ED IMPATTO AMBIENTALE

Il settore zootecnico, come tutte le attività antropiche, è un importante utilizzatore di risorse naturali e, al contempo, produce emissioni ed escrezioni che hanno effetti sulla qualità dell'aria, sul clima, sulla qualità del suolo e delle acque, oltreché sulla biodiversità (Leip et al., 2015).

I pascoli e le colture destinate alla produzione di alimenti per il bestiame occupano circa il 30% della superficie terrestre non coperta da ghiacci e il 70% circa della superficie agricola mondiale (Steinfeld et al., 2006). Inoltre l'allevamento del bestiame contribuisce significativamente all'arricchimento dei suoli in nutrienti, soprattutto attraverso la concimazione dei terreni agrari e la deposizione diretta di deiezioni sui pascoli, con il rischio di perdita di N e P nelle acque e comparsa di fenomeni di eutrofizzazione. La zootecnia è responsabile anche della maggior parte delle emissioni di NH_3 che hanno un impatto negativo sulla salute umana e sull'ambiente in quanto implicate nella formazione di particolato e nei processi di acidificazione. Per quanto riguarda l'emissione di gas ad effetto serra (Green House Gases – GHG) si stima che il settore zootecnico sia responsabile di circa il 14,5% dei GHG emessi dalle attività umane a livello globale, di cui il 30% imputabili specificamente al settore latte (Gerber et al., 2013). Tra i gas potenzialmente climalteranti rilasciati in atmosfera dagli allevamenti da latte figurano: la CO_2 , prodotta prevalentemente a seguito dell'uso di combustibili per le operazioni legate alla produzione degli alimen-

ti (operazioni colturali, produzione di agrofarmaci e fertilizzanti di sintesi, trattamenti in mangimificio, ecc.); il metano, derivante principalmente dalle fermentazioni ruminanti; il protossido di azoto, generato soprattutto nelle fasi di stoccaggio e di distribuzione dei reflui e dei fertilizzanti di sintesi.

Va sottolineato che l'intensità di emissione, ossia la quantità di emissioni e di escrezioni generate per unità di latte prodotto, è negativamente correlata con la produttività per capo e con l'efficienza produttiva che a loro volta sono tra loro relazionate. L'incremento della produzione latte per capo consente di allevare un minor numero di animali per ottenere la stessa quantità di prodotto riducendo in questo modo i costi "fissi" legati, ad esempio, al mantenimento degli animali e contribuendo così a ridurre l'intensità di emissione (FAO & GDP, 2018). Un'elevata efficienza produttiva permette di utilizzare al meglio i fattori produttivi e in particolare gli alimenti: una migliore conversione delle razioni in latte riduce la quantità di input (alimenti, suolo ed energia per la loro produzione, ecc.) e limita le emissioni/escrezioni associate alla produzione dell'unità di latte, con ricadute positive sull'ambiente oltre che sulla redditività dell'azienda.

Il conseguimento di elevati livelli produttivi e di una buona efficienza implica l'ottimizzazione di una serie di fattori e processi tra cui il miglioramento genetico, la corretta formulazione delle razioni ma anche la gestione degli animali e, in particolare, la garanzia di buone condizioni di salute e benessere degli stessi. Infatti situazioni di scarso benessere o stati patologici sono associati a fenomeni sfavorevoli come il calo dell'ingestione, la riduzione della digeribilità e l'aumento del fabbisogno energetico per il mantenimento (Llonch et al., 2017); tali condizioni comportano un peggioramento dell'efficienza di conversione degli alimenti in latte, una riduzione della produttività e un maggior impatto ambientale per kg di latte. L'adozione di tecnologie e sensori per il monitoraggio in continuo e in tempo reale della salute e delle condizioni degli animali può consentire di incrementare il livello di benes-

sere degli animali, di prevenire le patologie e di migliorare i risultati produttivi, ottimizzando le risorse disponibili e minimizzando le ricadute ambientali (Berckmans, 2014).

La mastite è generalmente accompagnata da un calo della produzione di latte (Dettelleux, 2018) e della fertilità (Walsh et al., 2011), da alterazioni della qualità (anche tecnologica) del latte (LeMarechal et al., 2011) e da incrementi dei tassi di rimonta (Hertl et al., 2011) con effetti variabili in funzione della gravità della forma clinica e del tipo di patogeno.

Le possibilità di individuazione precoce delle mastiti offerte dall'implementazione della sensoristica in sala di mungitura (monitoraggio della produzione latte, dei flussi, della conducibilità elettrica, delle cellule somatiche, ecc.) così come la possibilità di individuare fattori di rischio per l'integrità dei capezzoli (fluttuazioni del vuoto, pulsazione, ecc.) possono contribuire a salvaguardare la salute della mammella riducendo le inefficienze dovute alla minore produttività degli animali e le conseguenze sull'ambiente. Come già sottolineato, la riduzione della produzione di latte causata dalla mastite comporta infatti un incremento dell'impatto ambientale per chilogrammo di latte prodotto. Anche lo scarto del latte mastitico e di quello prodotto da animali in terapia contribuisce all'incremento del costo ambientale del latte consegnato.

Le eliminazioni precoci e la mortalità, causate dalle mastiti, impongono tassi di rimonta elevati e l'allevamento di un gran numero di vitelle e manze il cui costo ambientale si ripercuote sul latte prodotto dalle bovine adulte. Secondo Grandl et al. (2019) sia l'intensità di emissione di gas serra che la redditività risulterebbero più favorevoli in bovine con vita produttiva più lunga. Wall et al. (2009) hanno stimato che un aumento del numero medio di parto di 0,5 (da 3 a 3,5) comporterebbe un calo del metano prodotto del 4,42% e del protossido d'azoto del 3,65%. Il potenziale di mitigazione dell'incremento della longevità sull'intensità di emissione di GHG potrebbe arrivare a circa l'11-12%, considerando la riduzione del tas-

so di rimonta e la vendita delle vitelle in eccesso (Weiske et al., 2006). Va tuttavia tenuto presente che la maggiore longevità delle bovine potrebbe creare una riduzione dell'offerta di carne bovina sul mercato, offerta che attualmente è rappresentata in parte proprio dalle vacche a fine carriera. Nel caso in cui non si verificassero cambiamenti nella domanda di carne bovina, il divario potrebbe essere compensato solo con un'espansione della produzione nel settore carne bovina con possibile incremento delle emissioni complessive nel sistema "espanso" latte-carne in ragione della scarsa efficienza della produzione della carne bovina. Anche il calo della fertilità che spesso si associa alla mastite, oltre a comportare un maggior rischio di eliminazione precoce degli animali, può generare un incremento dei periodi caratterizzati da bassa produttività, ad esempio per allungamento del periodo interparto e delle lattazioni. Garnsworthy (2004) ha messo in evidenza un effetto significativo della fertilità delle bovine sull'emissione di GHG del settore latte stimando un potenziale di riduzione delle emissioni di metano del 24% in uno scenario di ottimizzazione dei parametri riproduttivi rispetto alla situazione corrente.

Hospido e Sonesson (2005) hanno quantificato l'impatto ambientale della mastite mettendo a confronto uno scenario standard (rappresentativo della realtà odierna in Galizia, Spagna) e uno scenario migliorato (in cui il tasso di incidenza della mastite si immagina ridotto attraverso l'implementazione di diverse azioni). In tutte le categorie di impatto studiate, tra cui acidificazione, eutrofizzazione e riscaldamento globale, è stato rilevato che una diminuzione dell'incidenza della mastite ha un'influenza positiva sulla sostenibilità ambientale del latte con una riduzione variabile a seconda della categoria di impatto tra il 2,5% (potenziale di riscaldamento globale) e il 5,8% (esaurimento delle risorse abiotiche) come conseguenza della diminuzione della frequenza della mastite clinica (dal 25 al 18%) e subclinica (dal 33 al 15%). I risultati di Gülzari et al. (2018) mostrano che esiste un potenziale per ridurre l'intensità delle emissioni di GHG del lat-

te del 3,7% abbassando il livello di cellule somatiche da 800.000 a 50.000 cellule/ mL. Gli autori concludono che la prevenzione e il controllo della mastite subclinica consentono effettivamente di limitare le emissioni di GHG per unità di latte prodotto in azienda, ma anche di ottenere un miglioramento dei profitti attraverso la riduzione delle perdite di latte, un tasso di rimonta ottimale, la riduzione dei consumi alimentari e di altri costi variabili per kg di latte. Secondo Mostert et al. (2019) le emissioni di GHG di vacche con mastite clinica aumentano in media di 57,5 kg CO₂eq/t FPCM (Fat Protein Corrected Milk - latte corretto per grasso e proteine), pari al 6,2%, rispetto alle vacche sane. Questo aumento è causato dalla eliminazione degli animali per morte o scarto (39%), dal latte scartato (38%), dalla riduzione della produzione di latte (17%) e dall'allungamento dell'intervallo interparto (6%). Le emissioni di GHG aumentano di 48 kg CO₂eq/t FPCM per le vacche con un caso di mastite clinica, di 69 kg CO₂eq/t FPCM per le vacche con due casi di mastite clinica e di 92 kg CO₂eq/t FPCM per le vacche con tre casi rispetto a vacche che non sviluppano mastite clinica.

La maggior parte degli studi sull'impatto ambientale della mastite, della bassa fertilità e della scarsa longevità sono stati effettuati applicando la metodologia Life Cycle Assessment (LCA) che consente di valutare contemporaneamente molte categorie di impatto e di tenere conto non solo degli impatti diretti generati a livello della stalla ma anche di quelli indiretti legati alla produzione in azienda e fuori azienda dei fattori della produzione come ad esempio gli alimenti per il bestiame, i fertilizzanti, gli agrofarmaci, gli animali acquistati, ecc. Inoltre il metodo LCA consente di tener conto del fatto che l'azienda bovina da latte produce latte ma anche carne (soprattutto dalle bovine a fine carriera ma anche dai vitelli) e di ripartire gli impatti attraverso diversi criteri di allocazione tra i due prodotti. A proposito dell'impiego dell'analisi LCA per la valutazione dell'impatto ambientale delle produzioni animali è interessante sottolineare come la

PLF potrebbe essere molto utile per migliorare la valutazione dell'impatto ambientale garantendo l'alta qualità (ovvero rappresentatività, completezza, precisione) dei risultati dell'inventario a livello di azienda agricola (Anestis et al., 2015)

Per quanto riguarda le possibilità offerte dal monitoraggio della composizione del latte (grasso, proteine, urea, betaidrossibutirato, ecc.) per la prevenzione delle dismetabolie e l'individuazione delle situazioni di non corretto bilanciamento delle razioni alimentari, va tenuto presente che sia le malattie metaboliche sia la somministrazione di razioni non correttamente formulate comportano una minore efficienza di utilizzazione degli alimenti e una riduzione della produzione latte, della fertilità e della longevità il che si traduce in un incremento del costo ambientale del chilogrammo di latte (Mostert et al., 2018). Relativamente all'urea del latte, ad esempio, è stato stimato che ogni mg/dL di diminuzione dell'urea nel latte (nell'intervallo, 16-10 mg/dL) corrisponde ad una riduzione della escrezione giornaliera di urea urinaria di 16,6 g per vacca, che consente di abbassare le emissioni da reflui di NH₃ e N₂O di un 7-12% (Powell et al., 2014).

Le tecnologie della Mungitura di Precisione potrebbero essere utilissime anche per ridurre l'impronta di carbonio a livello dell'intera filiera lattiero-casearia. Come riportato da Todde et al. (2017), un sistema di analisi e separazione in tempo reale del latte alla stalla in funzione della qualità compositiva dello stesso attraverso sistemi di sensori può consentire una sensibile riduzione dei costi energetici per la produzione di formaggio, indirizzando verso questa produzione solo il latte con caratteristiche compositive idonee. Questo sistema permetterebbe di riorganizzare la logistica del latte in base alle sue proprietà di coagulazione, in modo da fornire latte ad alto contenuto di caseina direttamente al caseificio, risparmiando circa il 44% di energia e riducendo le emissioni di CO₂ del 69%.

La Mungitura di Precisione si presenta come una strategia win-win-win perché può consentire di migliorare simultaneamente molti aspetti che hanno a che fare con la so-

stenibilità delle aziende da latte: redditività, benessere animale, impatto ambientale, sicurezza alimentare e salute umana.

Tuttavia va sottolineato come i vantaggi possano essere ottenuti solo nel caso in cui le tecnologie siano ben consolidate e possano essere ben utilizzate. Sono indispensabili in questo senso la solidità tecnica dei parametri scelti e dei sistemi di monitoraggio e gestione dei dati, la leggibilità dei dati raccolti e la loro adeguatezza nel tradursi in sistemi di supporto alle decisioni, la possibilità di integrazione tra i diversi sistemi di PLF presenti in stalla e le competenze dell'allevatore e del personale presente in stalla di relazionarsi positivamente con il mondo dell'Information Technology.

BIBLIOGRAFIA

- Adriaens I., Saeys W., Huybrechts T., Lamberigts C., François L., Geerinckx K., Leroy J., De Ketelaere B., Aernouts B., 2018. A novel system for on-farm fertility monitoring based on milk progesterone. *J. Dairy Sci.*, 101(9), 8369-8382.
- Abeni F., Petrera F., Galli A., 2019. A survey of Italian dairy farmers' propensity for precision livestock farming tools. *Animals*, 9(5), 202.
- Anestis V., Bartzanas T., Kittas C., 2015. Life cycle inventory analysis for the milk produced in a Greek commercial dairy farm - the link to precision livestock farming. 7th European Conference on Precision Livestock Farming, 2015, pp. 670-680.
- Berckmans D., 2014. Precision livestock farming technologies for welfare management in intensive livestock systems. *Rev. Sci. Tech.*, 33(1), 189-196.
- Dettileux J., 2018. Tolerance to bovine clinical mastitis: Total, direct, and indirect milk losses. *J. Dairy Sci.*, 101(4), 3334-3343.
- FAO and GDP, 2018. Climate change and the global dairy cattle sector – The role of the dairy sector in a low-carbon future. Rome. 36 pp.
- Garnsworthy P.C., 2004. The environmental impact of fertility in dairy cows: a modelling approach to predict methane and ammonia emissions. *Anim. Feed Sci. and Tech.* 112, 211–223
- Gerber P.J., Steinfeld H., Henderson B., Mottet A., Opio C., Dijkman J., Falcucci A., Tempio G., 2013. Tackling climate change through livestock: a global assessment of emissions and mitigation opportunities. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).
- Grandl F., Furger M., Kreuzer M., Zehetmeier M., 2019. Impact of longevity on greenhouse gas emissions and profitability of individual dairy cows analysed with different system boundaries. *Animal*, 13(1), 198-208.
- Gülzari Ş.Ö., Ahmadi B.V., Stott A.W., 2018. Impact of subclinical mastitis on greenhouse gas emissions intensity and profitability of dairy cows in Norway. *Prev. Vet. Med.*, 150, 19-29.
- Hertl J.A., Schukken Y.H., Bar D., Bennett G.J., González R.N., Rauch B.J., Welcome F.L., Tauer L.W., Gröhn Y.T., 2011. The effect of recurrent episodes of clinical mastitis caused by gram-positive and gram-negative bacteria and other organisms on mortality and culling in Holstein dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 94(10), 4863-4877.
- Hogeveen H., Kelton D., Zecconi A., Dalen G., Honig H., Sanchez-Mainar M., I. Klaas, Sensor Technology in Udder Health Management. in XL NMC Annual Meeting. 2021a. web: National Mastitis Council, Prague MN (USA).
- Hogeveen, H., Klaas, G. Dalen, H. Honig, A. Zecconi, D. Kelton, M. Sanchez-Mainar, 2021b. Novel ways to use sensor data to improve mastitis management. *J. Dairy Sci.*, 104,10.
- Inzaghi V., Zucali M., Thompson P.D., Penry J.F., Reinemann D.J., 2021. Changes in milk and milking characteristics prior to clinical mastitis confirmation. *Ital. J. Anim Sci.* Under revision.
- Khatun M., Thomson P.C., Kerrisk K.L., Lyons N.A., Clark C.E.F, Molfino J., García S.C., 2018. Development of a new clinical mastitis detection method for

- automatic milking systems. *J. Dairy Sci.* 101, 9385-9395
- Le Maréchal C., Thiéry R., Vautor E., Le Loir Y., 2011. Mastitis impact on technological properties of milk and quality of milk products—a review. *Dairy Sci. & Tech.*, 91(3), 247-282.
- Leip A., Billen G., Garnier J., Grizzetti B., Lassaletta L., Reis S., Simpson D., Sutton M.A., De Vries W., Weiss F., Westhoek H., 2015. Impacts of European livestock production: nitrogen, sulphur, phosphorus and greenhouse gas emissions, land-use, water eutrophication and biodiversity. *Environ. Res. Lett.* 10, 115004.
- Llonch P., Haskell M., Dewhurst R., Turner S., 2017. Current available strategies to mitigate greenhouse gas emissions in livestock systems: an animal welfare perspective. *Animal* 11, 274–284.
- Mostert P.F., Bokkers E.A.M., De Boer I.J.M., Van Middelaar C.E., 2019. Estimating the impact of clinical mastitis in dairy cows on greenhouse gas emissions using a dynamic stochastic simulation model: a case study. *Animal*, 13(12), 2913-2921.
- Mostert P.F., Van Middelaar C.E., Bokkers E.A.M., De Boer I.J.M., 2018. The impact of subclinical ketosis in dairy cows on greenhouse gas emissions of milk production. *J. Clean. Prod.*, 171, 773-782.
- Østerås O., Sánchez Mainar M., 2019. Mastitis Prevention and Therapy for Sustainable Dairy Production. In *IDF Mastitis Conference* (pp. 14-16).
- Rutten C.J., Steeneveld W., Hogeveen H., 2014. Review of sensor systems for oestrous detection and potential of sensors to predict onset of calving. *Reprod.*, 49: p. 37-37.
- Sangiorgi F., Zanini L., Zecconi A., 2014. Sistemi di mungitura. Manuale pratico per la scelta, la progettazione, la gestione e la manutenzione. Verona: Edizioni L'Informatore Agrario. 144.
- Sermoneta L.C., 2021. Le statistiche ufficiali legate alle produzioni animali. Webinar Associazione per la Scienza e le Produzioni Animali
- Steinfeld H., Gerber P., Wassenaar T.D., Rosales V., Rosales M., De Haan C., 2006. Livestock's long shadow: Environmental issues and options. Rome, Italy: FAO. www.fao.org/docrep/010/a0701e/a0701e00.htm
- Todde G., Caria M., Gambella F., Pazzona A., 2017. Energy and carbon impact of precision livestock farming technologies implementation in the milk chain: from dairy farm to cheese factory. *Agriculture*, 7(10), 79.
- Utriainen M., Pastell M., Rinne M., Kajava S., Myllymäki H., 2019. Sensor technologies in dairy farms in Finland. In *Papers presented at the 9th European Conference on Precision Livestock Farming*.
- Wall E., Simm G., Moran D., 2010. Developing breeding schemes to assist mitigation of greenhouse gas emissions. *Animal*, 4(3), 366-376.
- Walsh S.W., Williams E.J., Evans A.C.O., 2011. A review of the causes of poor fertility in high milk producing dairy cows. *Anim. Repr. Sci.*, 123(3-4), 127-138.
- Weiske A., Vabitsch A., Olesen J.E., Schelde K., Michel J., Friedrich R., Kaltschmitt M., 2006. Mitigation of greenhouse gas emissions in European conventional and organic dairy farming. *Agric., ecosyst. & env.*, 112(2-3), 221-232.
- Zecconi A., Cipolla M., 2019. La messa in asciutta: modalità e approccio terapeutico. *Summa animali da reddito* (8): p. 5-12.
- Zecconi A., Cipolla M., 2020. La sanità della mammella bovina. *Point vétérinaire Italia*.
- Zecconi A., Cipolla M., 2019. La terapia delle mastiti: uso prudente e corretto. *Summa animali da reddito*, 9(6): p. 5-14.
- Zecconi A., Gusmara C., Di Giusto T., Cipolla M., Marconi P., Zanini L., 2020. Observational study on application of a selective dry-cow therapy protocol based on individual somatic cell count thresholds. *Ital. J. Anim. Sci.*, 19(1), 1341-1348.
- Zecconi A., Sesana G., Vairani D., Cipolla M., Rizzi N., Zanini L., 2019. Somatic cell count as a decision tool for selective dry cow therapy in Italy. *Ital. J. Anim. Sci.*, 18(1), 435-440.

ALIMENTAZIONE DI PRECISIONE: QUALI INFORMAZIONI DALL'ALIMENTO, DALL'ANIMALE E DALL'AMBIENTE

G. MARCHESINI¹, U. BERNABUCCI², P. DE PALO³, F. ABENI⁴

¹ Dipartimento MAPS, Università degli Studi di Padova
giorgio.marchesini@unipd.it

² Dipartimento di Scienze Agrarie e Forestali, Università degli Studi della Tuscia-Viterbo
bernab@unitus.it

³ Dipartimento di Medicina Veterinaria, Università di Bari A. Moro, Bari
pasquale.depalo@uniba.it

⁴ Centro di ricerca Zootecnia e Acquacoltura, CREA, sede di Lodi
fabiopalmiro.abeni@crea.gov.it

ABSTRACT

Nell'ambito dell'allevamento bovino si stanno cercando di coniugare sempre più le esigenze produttive ed economiche degli allevatori con gli obiettivi di riduzione dell'impatto ambientale e di salvaguardia del benessere e della salute animale. In quest'ottica l'alimentazione di precisione prende in considerazione informazioni ricavate da parametri misurabili sui singoli alimenti, sulla razione, sull'animale e sull'ambiente. L'alimentazione di precisione permette di aumentare l'efficienza nell'utilizzo della razione e capire se la razione stessa o le sue modalità di somministrazione debbano essere mantenute o modificate. Tra gli aspetti più importanti che si possono monitorare nell'ambito dell'alimentazione di precisione vi sono la variabilità e la caratteristica degli alimenti (concentrati e in particolare foraggi) e della razione, l'uniformità nel tempo e l'omogeneità dell'*unifeed*, l'efficienza alimentare, la salute dei singoli individui e il loro *time budget*. Non sono, infine, da trascurare le informazioni derivanti dall'ambiente, quali le emissioni di ammoniaca e gas serra e le condizioni legate allo stress da caldo. Le tecnologie oggi disponibili possono fornire *feedback* utili per operare cambiamenti mirati nella gestione nutrizionale, alimentare e degli animali, migliorando significativamente l'efficienza aziendale, con tutti i riflessi di natura economica, sociale ed ambientale derivanti. Bisogna però tenere presente che l'applicazione di un sistema di alimentazione di precisione funziona al meglio se inserito in un sistema di gestione delle informazioni che regoli tutte le aree di cui si compone un allevamento.

INTRODUZIONE

Premessa

Nell'ambito dell'allevamento bovino, si sta cercando di coniugare sempre più le esigenze produttive ed economiche degli allevatori con quelle della riduzione dell'impatto ambientale e quelle del benessere e della salute animale (Britt et al., 2018). Si prevede, infatti, che la richiesta mondiale di carne,

latte e, più in generale, di prodotti di origine animale aumenterà di almeno il 70% nei prossimi 30 anni (Berckmans, 2017) e questo solleva di conseguenza la questione di come realizzare una produzione di carne e latte di alta qualità, sostenibile e sicura per soddisfare questa domanda, senza però trascurare la salute e il benessere degli animali. In quest'ottica, una possibile risposta è quella della Zootecnia di Precisione (Precision Livestock Farming, PLF), che si sta afferman-

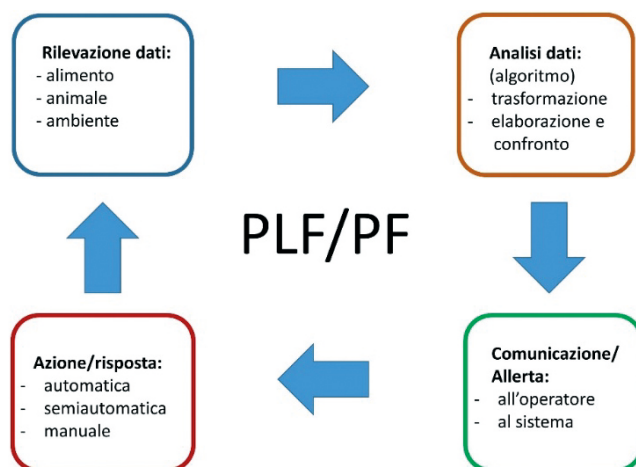


Figura 1 – Suddivisione in 4 fasi dell’approccio relativo al Precision Livestock Farming (PLF) e al Precision Feeding (PF).

do sempre più come metodologia multidisciplinare che mira a offrire un sistema di monitoraggio e gestione in tempo reale delle procedure aziendali e consente un intervento rapido ed efficace di correzione ogni volta che si verificano deviazioni dalla normalità. La zootecnica di precisione si basa su un approccio che prevede quattro fasi (Figura 1): il monitoraggio dei dati del singolo capo, la loro analisi, la decisione/azione da intraprendere ed il controllo sull’effetto di tale azione (Berkmans, 2004).

Nell’ambito della nutrizione e alimentazione animale lo stesso concetto viene ripreso da quella che viene definita Alimentazione di Precisione (Precision Feeding, PF), che offre agli allevatori l’opportunità di aumentare l’efficienza dell’utilizzo della razione, monitorandola e calibrandola per coprire i fabbisogni nutrizionali e non solo (Wathes et al., 2008). Infatti, oltre ad avvicinare la quantità e la qualità dell’alimento somministrato a quelle teoricamente previste dal calcolo della razione (Bisaglia, 2012), le finalità della PF comprendono anche la rilevazione di tutti quei parametri che indicano se la razione stessa o le modalità della sua somministrazione devono essere mantenute o modificate in base alla risposta dell’animale.

Questo processo consente di migliorare tutti gli aspetti del ciclo produttivo, riducendone gli sprechi. Bell e Tzimiripoulos (2018) stimano che la riduzione di un kg di alimento all’anno per vacca da latte per tutta la sua vita produttiva, ottenuto attraverso il miglioramento dell’efficienza alimentare, e ipotizzando una popolazione di 1,8 milioni di vacche nel Regno Unito, porterebbe ad un aumento annuale dei profitti per l’industria lattiero-casearia pari a circa 324.000 £ e porterebbe alla riduzione di 1,3 kg di anidride carbonica equivalente (CO₂e) per vacca all’anno. Fare alimentazione di precisione significa considerare parametri misurabili nell’alimento, nella razione, sull’animale e nell’ambiente.

Basti pensare al contenuto di lignina o di fibra non degradabile (uNDF) dei foraggi, che dovrebbe essere utilizzato per regolare la percentuale di inclusione nella razione e la lunghezza di trinciatura. Questi aspetti influenzano il contenuto di fibra fisicamente efficace (peNDF: physically effective NDF) della razione e la distribuzione dimensionale delle sue particelle (Grant et al., 2020). A loro volta queste caratteristiche regolano l’ingestione da parte dell’animale, la selezione delle varie componenti, il tempo di ruminazione, la velocità di transito e infine la digeribilità totale della razione stessa. La

digeribilità contribuisce a determinare l'efficienza alimentare e l'impatto ambientale legato all'emissione dei nutrienti non digeriti eliminati con le feci.

Dal punto di vista sanitario, le caratteristiche della razione, soprattutto nella bovina da latte in fase di transizione, possono favorire l'insorgenza di dismetabolie quali l'acidosi ruminale (Plaizier et al., 2009) o la chetosi. Da qui l'importanza delle figure consulenziali come coloro che, in aiuto dell'allevatore, associano e interpretano i vari dati a disposizione sulla base delle peculiarità di stalla.

INFORMAZIONI DALL'ALIMENTO

Variabilità degli alimenti e della razione

Uno dei fattori che impediscono di arrivare al massimo dell'efficienza alimentare nell'allevamento del bovino, è la variabilità della composizione nutrizionale dei singoli alimenti utilizzati. Tale variabilità deve essere tenuta presente durante la formulazione della dieta, nella sua preparazione in azienda e nel momento in cui vengono scelte le fonti di approvvigionamento degli alimenti stessi (Calamari, 2017). Pertanto, è opportuno controllare la composizione di tutti gli alimenti con una certa regolarità, ogni volta che si cambia la partita di un alimento e controllare frequentemente anche la composizione della dieta.

Nella scelta tra le molteplici analisi di laboratorio ad oggi disponibili, nell'ottica dell'alimentazione di precisione, una particolare enfasi deve essere posta alle tecniche che sono in grado di dare una risposta in tempo utile (Abeni, 2020). In tale contesto, nell'ultimo decennio si sono affermate le tecniche di analisi rapida basate sulla spettrometria nel vicino infrarosso (NIRS) e sull'*X-ray fluorescence spectroscopy* (XRF) che permettono analisi rapide e che, nel caso di strumenti NIR portatili, possono essere effettuate direttamente in campo, dando il risultato in meno di un minuto. Se l'XRF può essere utilizzato per l'analisi dei singoli minerali di un alimento o della razione, fondamentale per esempio per il calcolo del bilancio ionico della ra-

zione, l'analisi NIRS permette una gamma di analisi che va molto oltre la determinazione della sostanza secca (SS) e della composizione in principi nutritivi della razione. L'analisi NIRS di è dimostrata infatti capace di risolvere problemi analitici complessi quali quelli legati alla stima della degradabilità della SS, del monitoraggio della qualità fermentativa degli insilati (Andrighetto et al., 2018) e della tracciabilità delle materie prime e degli alimenti utilizzati (Berzaghi & Riovanto, 2009; Evangelista, 2017). Tale tecnologia, ove installata sul carro miscelatore, potrebbe addirittura essere integrata in un sistema informatizzato di controllo della preparazione e distribuzione degli alimenti, rendendo più facile comprendere la connessione tra l'eventuale deviazione delle prestazioni della mandria rispetto a quelle attese e la presenza di possibili inefficienze nel sistema di preparazione dell'alimento (Abeni, 2020).

Caratteristiche chimico-fisico-nutrizionali dei foraggi

Soprattutto nel caso dei foraggi, che sono per loro natura estremamente variabili nella loro composizione, si rende evidente la necessità di valutarne le caratteristiche prima di decidere se e in che quantità inserirli nella razione.

Tra i parametri che influenzano maggiormente la digeribilità dei foraggi e, indirettamente, l'efficienza alimentare, c'è la concentrazione di lignina, che è comunemente considerata come un indicatore della frazione indigeribile della fibra (Palmonari et al., 2016), sebbene tale parametro inizi ad essere sostituito dall'uNDF a 240 ore (uNDF.240), ovvero la percentuale di aNDF che non viene degradata dopo 240 ore di incubazione *in vitro* con liquido ruminale (Raffrenato et al., 2018).

A questi parametri bisogna aggiungere il peNDF, che rappresenta il concetto di NDF fisicamente efficace ed è definito come il prodotto della concentrazione di NDF e del suo fattore di efficacia fisica (pef). Secondo Heinrichs (2013), la quota di peNDF ingerita dall'animale dovrebbe essere pari allo 18-26% SS.

Nel caso degli insilati, oltre alla composizione in nutrienti, sembra essere di estrema importanza anche la concentrazione dei prodotti di fermentazione quali acidi organici, etanolo ed ammoniaca, che influenzano il pH dell'insilato (Kung et al., 2018) e sono indicatori della qualità delle fermentazioni avvenute durante l'insilamento. Tali indicatori sono estremamente importanti perché influenzano l'ingestione delle bovine da latte e indicano la presenza di fermentazioni anomale dovute alla presenza di clostridi e a svariati microrganismi etero-fermentanti che sono associati a perdite di sostanza secca durante l'insilamento. Anche questi parametri possono essere determinati rapidamente mediante analisi NIRS e rappresentano uno strumento in più per poter ottimizzare l'ingestione (Andrighetto et al., 2018).

Struttura, uniformità nel tempo, omogeneità e selezione dell'unifeed

La tecnica *unifeed* è vincolata al concetto che le varie componenti della razione, ed in particolare le fonti energetiche, proteiche e fibrose, debbano essere somministrate e ingerite contemporaneamente dall'animale nelle dosi e nei rapporti corretti, in modo da ottimizzare l'attività batterica ruminale, prevenire l'insorgenza di dismetabolie e non alterare l'equilibrio della comunità microbica a livello ruminale. Tale equilibrio deve essere mantenuto il più possibile costante nel tempo (Sova et al., 2013) e sebbene si sia consapevoli che una leggera variazione giornaliera nella composizione della razione sia inevitabile, si è riscontrato che se la variazione aumenta eccessivamente può compromettere la salute della bovina e la sua capacità produttiva (Sova et al., 2013). Ciò è in linea con i risultati di un altro studio nella vacca da latte, dove un aumento dello 0,5% della variazione dell'energia netta e un aumento del 5% nella variazione delle particelle lunghe dell'*unifeed* sono stati associati a un calo della produzione giornaliera di latte rispettivamente di 3,2 e 1,2 kg (Sova et al., 2014). Un risultato simile è stato riscontrato nel vitellone da carne, dove una

variazione giornaliera dell'amido e dell'NDF di circa il 6%, rispetto ad una variazione del 3-4%, hanno portato ad una riduzione dell'accrescimento giornaliero di 90 g e un aumento dell'indice di conversione alimentare da 4,97 a 5,39 (Marchesini et al., 2020). Questo effetto è probabilmente dovuto ad una maggiore efficienza nell'utilizzo dei nutrienti da parte dei microrganismi ruminanti, che in presenza di un costante apporto di una dieta equilibrata, formano comunità microbiche equilibrate ed efficienti. Tali comunità microbiche, se alterate a causa di squilibri alimentari, potrebbero infatti richiedere fino a 14 giorni di tempo per modificarsi e adattarsi alla variazione della dieta (Gruninger et al., 2019).

La quotidiana variazione nell'assunzione di nutrienti può avere molteplici cause, tra cui la variabilità intrinseca degli ingredienti, l'ordine di carico nel carro miscelatore ed errori dell'operatore (Schingoethe, 2017). Un'indagine condotta in 49 allevamenti da latte del Wisconsin (USA), ad esempio, ha evidenziato che il tempo di miscelazione adottato dagli allevatori era in media di 16 minuti, con variazioni da 2 a 60 minuti, rispetto ai 3-6 minuti consigliati dai costruttori (Bisaglia, 2012).

Un'ulteriore causa di variazione può essere la selezione a favore o a sfavore di alcuni componenti della miscelata, che può anche essere favorita dalla scarsa omogeneità dell'*unifeed* (Leonardi & Armentano, 2003). Attualmente, sia l'omogeneità che la selezione possono essere analizzate in poco tempo e a costi molto ridotti grazie all'uso di strumenti NIRS portatili e l'utilizzo di curve di calibrazione specifiche che si basano su metodi brevettati che danno il valore di due indici, l'indice di omogeneità della razione (IO) e l'indice di selezione (IS) che sono risultati estremamente utili per la valutazione degli *unifeed* aziendali (Serva et al., 2016).

INFORMAZIONI DAL SINGOLO ANIMALE

Per quanto l'introduzione della tecnica *unifeed* abbia rappresentato un salto in avanti indiscutibile nell'efficienza zootecnica

ca, storicamente ha portato con sé la perdita dell'importanza di valutare l'individualità dell'animale, intesa come fenotipo unico ed irripetibile, ma anche frutto di peculiare interazione di quel fenotipo con l'ambiente e la sua condizione fisiologica. Lo sforzo che oggi deve essere compiuto dalle figure professionali di supporto tecnico all'allevatore è quello di recuperare la dimensione di "individualità" di ogni singolo animale, considerando l'azienda non come "mandria", ma come insieme eterogeneo di singoli capi, con peculiarità genetiche, fisiologiche, etologiche da considerare.

Dal punto di vista alimentare, la suddivisione dei capi in gruppi omogenei per fabbisogni produttivi, detti *clusters*, e la conseguente somministrazione a tali gruppi di diete mirate si è dimostrata superiore, in termini di efficienza di utilizzo dei nutrienti, rispetto al semplice vecchio sistema di utilizzo di fattori di correzione (*lead factors*) della dieta media in funzione della distribuzione delle bovine nei diversi gruppi alimentari della mandria. Dalle elaborazioni di Cabrera e Kalantari (2016), si è visto che il *clustering* consente di migliorare sia l'utilizzo dell'energia sia quello della proteina nella razione e riduce il rischio di sovrappeso ed elevato stato di ingrassamento delle bovine, fattori di rischio soprattutto nelle relazioni tra gestione del periparto, salute e fertilità.

Nell'ottica del PF, una volta raccolti e analizzati i dati della razione, è di fondamentale importanza valutarne gli effetti sugli animali stessi in termini di produzione, efficienza, salute e costi, per poter eventualmente intervenire e modificare la razione o le modalità ed i tempi per la sua preparazione e somministrazione.

Efficienza: misura della produzione, ingestione, digeribilità, peso vivo e body condition score

Tra i vari sistemi di calcolo dell'efficienza, quello più comunemente utilizzato (Bach et al., 2020) necessita della conoscenza della produzione e dell'ingestione di SS, che per la

rilevazione sul singolo individuo presentano difficoltà variabili.

La rilevazione automatizzata della produzione individuale di latte è la tecnologia che per prima si è diffusa nella condizione di zootecnia intensiva più avanzata (Abeni et al., 2019), e che recentemente è stata affinata grazie all'applicazione della spettrofotometria *in-line* che nelle moderne sale di mungitura o nei sistemi di mungitura automatici (robot di mungitura) dà, in tempo reale, la misura del contenuto di grasso, proteina e lattosio e permette il calcolo della produzione di latte corretta per il suo contenuto in nutrienti (Benedet et al., 2019).

La stima dell'ingestione individuale rappresenta invece un *gap* da colmare, specialmente nelle aziende da latte a stabulazione libera. Ad oggi, infatti, non risultano disponibili in commercio dispositivi in grado di fornire un controllo diretto dell'ingestione individuale, se non alcuni sistemi adottati nei centri di ricerca, costituiti da mangiatoie individuali dotate di celle di carico e sensori per il riconoscimento individuale degli animali, che per questione di costi e poca praticità non trovano applicabilità nella realtà commerciale. Sono invece allo studio metodi indiretti, che sfruttano approcci multiparametrici, come quello basato sull'analisi degli spettri dell'infrarosso del latte, in associazione a variabili quali produzione di latte, peso vivo e giorni di lattazione (Dórea et al., 2018), oppure quello basato sull'applicazione di 3 accelerometri a 3 assi (Carpinelli et al., 2019). Un ulteriore metodo, probabilmente ancora relativamente "immaturo", è basato sulla fotogrammetria, mediante la quale si vuole stimare in tempo reale l'alimento che una bovina sta assumendo (Bloch et al., 2019). Tali metodi indiretti presentano ancora indici di correlazione e determinazione con la reale ingestione degli animali molto variabili, ma si intravedono ottime prospettive per il futuro.

Da un punto di vista pratico però, qualora non si riuscisse a stimare in modo sufficientemente accurato l'ingestione di SS per poter calcolare l'efficienza, già il calcolo della digeribilità totale, tramite l'uso di un marcato-

re interno come la lignina e l'analisi dell'*unifed* e delle feci può aiutare a stimare quanto ottimale sia l'utilizzo della razione da parte degli animali, permettendo all'allevatore di capire se la razione debba essere modificata, variando ad esempio la proporzione degli ingredienti o cambiando, ove possibile, la lunghezza di trinciatura dei foraggi per aumentarne o diminuirne la velocità di transito, modulandone la digestione. Secondo Potts et al. (2017), in media, una bovina dovrebbe produrre 2,45 kg di latte per kg di SS digerita.

Di grande importanza risulta essere anche la misura del peso vivo degli animali, che rappresenta un elemento fondamentale per la formulazione di una dieta adeguata ai fabbisogni di mantenimento ed è necessaria per il calcolo dell'accrescimento individuale nel bovino da carne o nelle vitelle e nelle manze del settore latte. Alle tradizionali bilance, si sono da tempo affiancati sistemi che consentono di rilevare il peso vivo delle bovine al passaggio in sala di mungitura, consentendo una memorizzazione e successiva gestione del dato digitale. A questi sistemi si sono affiancati anche sistemi di analisi d'immagine automatizzati che non solo consentono la stima del peso vivo (Le Cozler et al., 2019), ma consentono anche il monitoraggio dello stato nutrizionale dell'animale attraverso la stima del punteggio di condizione corporea, meglio noto come *body condition score* (BCS) (Mulins et al., 2019). Per quanto riguarda quest'ultimo sistema, gli autori riportano coefficienti di determinazione che vanno da 0,82 a 0,93 per la stima del peso vivo.

Salute e funzionamento dei prestomaci, ruminazione, pH ruminale e analisi del latte

Un aspetto su cui la tecnologia ha fatto passi da gigante è il monitoraggio in continuo di parametri fisiologici per la valutazione del funzionamento e della condizione dei prestomaci, come la misurazione delle contrazioni ruminali, del pH ruminale e dei *pattern* giornalieri di ruminazione (De Nardi

et al., 2013; Arai et al., 2019). Tali parametri non solo sono risultati estremamente utili per verificare che l'apporto della peNDF nella razione sia adeguato, ma sono in grado di dare informazioni, in modo più o meno diretto a seconda dei sensori utilizzati, sul rischio di acidosi ruminale, dislocazione dell'abomaso (Arai et al., 2019) e altre disfunzioni dei prestomaci. Aiutano, inoltre, ad individuare in fase precoce animali che soffrono di varie patologie tra cui mastiti, metriti (Stangaferro et al., 2016a; 2016b), zoppie (Van Hertem et al., 2013) o che sono soggetti a stress da caldo (Abeni e Galli, 2017). A titolo di esempio in uno studio sulla vacca da latte, Stangaferro et al. (2016b) utilizzando un sistema automatico di individuazione della salute (AHMS) basato sul *pattern* di ruminazione e attività misurati da collari, sono riusciti a individuare casi di metrite fino a 5 giorni prima dell'instaurarsi dei segni clinici con una sensibilità che andava dal 55% in caso di metriti lievi, al 78% nel caso in cui la metrite fosse accompagnata da altre patologie. L'utilizzo degli stessi collari ha permesso di individuare vitelloni affetti da sindrome respiratoria (BRD) e da zoppia 3-6 giorni prima della comparsa dei segni clinici, mostrando per entrambe le patologie una sensibilità maggiore all'80% (Marchesini et al., 2018). Sempre mirati al monitoraggio e alla prevenzione di patologie legate all'alimentazione, vi sono i sistemi spettrofotometrici applicati al latte, che possono fornire ad esempio indicatori di chetosi subclinica, quali il rapporto tra grasso e proteina (>1,4) e la concentrazione del β -idrossibutirrato (Benedet et al., 2019).

Explicazione del massimo potenziale e time budget

Conoscere il comportamento alimentare e il *time budget* dell'animale è a sua volta estremamente importante per massimizzare l'efficienza alimentare. Tali misure possono aiutare nell'identificare inefficienze gestionali che hanno un impatto negativo sull'ingestione, la produzione e l'efficienza. Com'è

noto, le vacche da latte trascorrono da 3 a 5 ore al giorno mangiando, con una frequenza di 9-14 pasti, ruminano da 7 a 10 ore al giorno, trascorrono circa 30 minuti al giorno bevendo, da 2 a 3 ore in mungitura e richiedono circa 10 ore per stare sdraiate e riposarsi (Grant & Albright, 2001).

Questi parametri sono influenzati dalla gestione aziendale; pensiamo ad esempio al numero di volte in cui viene somministrato l'*unifeed*, all'utilizzo di "accostatori della miscelata" per assicurarsi che l'alimento sia sempre a disposizione dell'animale, all'eccessiva competizione in corsia di alimentazione o per le aree di riposo, alla promiscuità tra primipare e pluripare, al tempo speso in attesa della mungitura, ecc. (Grant & Albright, 2001). A questo proposito, va ricordato che vi sono molte tecnologie che permettono di misurare con relativa facilità tali parametri, (accelerometri, localizzatori GPS, sistemi di triangolazione, sistemi video o sistemi integrati, Caja et al., 2016; Wolfger et al., 2017), che malgrado la loro potenziale importanza nel miglioramento delle prestazioni della mandria, sono però ancora poco diffuse.

INFORMAZIONE DALL'AMBIENTE

La presenza di eventuali inefficienze alimentari si può misurare anche a livello ambientale (Figura 2).

Un esempio illuminante al riguardo è relativo alla proteina, la cui inefficienza di utilizzo determina un impatto ambientale importante, dovuto alla presenza di azoto non digerito nelle feci e all'escrezione di azoto con le urine e al conseguente rilascio di NH_3 . Castillo et al. (2001) riportano che se una bovina ingerisce 419 g di N/d e ha una produzione di latte simile ad una che ingerisce 516 g di N/d, il 74% dei 97 g/d in eccesso vengono escreti come N ureico nelle urine o nelle feci nel caso l'inefficienza sia dovuta a bassa digeribilità della proteina, aumentando le emissioni di NH_3 nell'atmosfera. Nel caso del bovino da carne ad esempio, alcuni autori hanno dimostrato che l'aumento della proteina grezza dall'11,5% al 13,0% della SS aumenta le emissioni di ammoniaca per fermentazione delle deiezioni, dal 60% al 200% (Cole et al., 2005). L'applicazione di sensori in azienda o l'utilizzo regolare di strumenti portatili per la misurazione dell' NH_3 nell'aria (Barrasa et al., 2012) non solo aiuterebbe ad evidenziare la presenza di inefficienze nell'utilizzo delle sostanze azotate da parte dell'animale, ma contribuirebbe a prevenire l'insorgenza di problematiche sanitarie. Un'elevata concentrazione di ammoniaca nell'aria può comportare, infatti, numerosi effetti avversi per animali e personale, tra cui infiammazione polmonare, irritazione e infiammazione delle mucose respiratorie superiori (Barrasa et al., 2012), riducen-

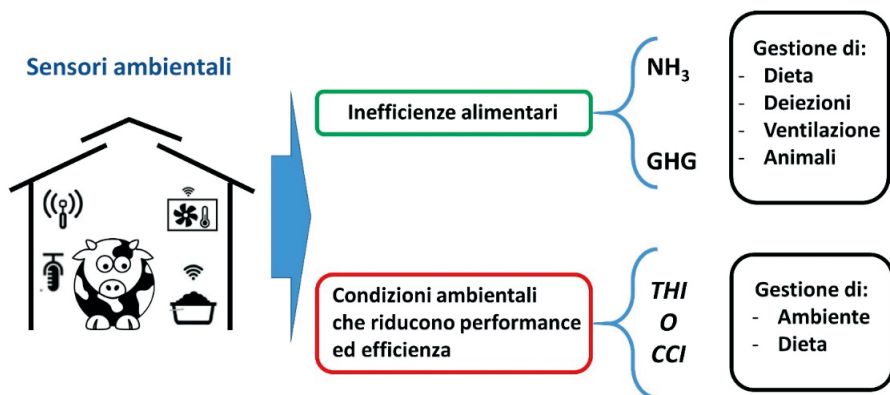


Figura 2 – Schema sulle informazioni che si possono ottenere dall'applicazione di sensori ambientali in allevamento. GHG: greenhouse gases; THI: temperature humidity index; CCI: comprehensive climate index.

do le prestazioni e predisponendo gli animali all'insorgenza di malattie respiratorie. Sebbene dal punto di vista del benessere animale il limite raccomandato sia di 19 mg/m³ di NH₃ (Philips et al., 2010) già a 12 mg/m³ si andrebbe incontro a un aumento dell'attività dei macrofagi polmonari. Ovviamente la presenza di ammoniaca nell'aria è fortemente influenzata anche dal ricambio dell'aria, determinato dalle caratteristiche della stalla e dalla presenza e tipologia dei sistemi di ventilazione (Magrin et al., 2017).

Un ulteriore esempio di rilievi ambientali importanti, oltre che per ridurre l'impatto ambientale, anche al fine di migliorare l'efficienza alimentare, sono quelli mirati alla misurazione delle emissioni di metano dovute alla fermentazione ruminale (Bell & Tzimiripoulos, 2018). Tali emissioni possono oggi essere stimate a partire dalle misurazioni effettuate sistemando gli strumenti in appositi distributori di concentrati (Cottle et al., 2015). Garnsworthy et al. (2012) riportano che le stime del metano effettuate durante la mungitura o in altre situazioni, sono correlate alle emissioni giornaliere totali di metano misurate nelle camere di respirazione. Bell e Tzimiripoulos (2018) riportano, inoltre, la possibilità di stimare le emissioni di metano a partire dall'analisi del latte tramite spettroscopia MIR, basandosi sulla relazione tra i cambiamenti delle fermentazioni ruminali e la composizione del latte. La sintesi di metano cresce, infatti, con l'aumento nel rapporto tra butirrato e propionato nel rumine, che si associa ad un calo del lattosio e ad un aumento di grasso nel latte.

Infine, è doveroso prendere in considerazione quei parametri ambientali che di per sé non sono indicatori diretti di inefficienza da parte degli animali, ma piuttosto segnalano condizioni ambientali manifestamente peggiorative per le performance e l'efficienza, ad esempio quelli legati allo stress da caldo come l'indice THI (Bernabucci et al., 2010; Soriani et al., 2013). Lo stress da caldo, non solo provoca un aumento dei costi sanitari, ma aumenta i costi indiretti causati dalla perdita di produzione e, nel caso del bovino da carne, dall'estensione della durata del ciclo

di ingrasso. Per misurare lo stato di stress da caldo attraverso i parametri climatici ambientali, nelle normali condizioni di stabulazione confinata, si utilizza l'indice THI, che viene calcolato a partire dalla temperatura e dall'umidità relativa dell'aria. In condizioni di stabulazione all'aperto si utilizza invece l'indice climatico globale (CCI), che tiene in considerazione anche la velocità dell'aria e la radiazione solare (Mader et al., 2010). Le soluzioni per tenere controllato il THI in stalla sono molteplici e vanno dal design delle strutture di stabulazione, che possono sfruttare la ventilazione naturale (Shoshani & Hetzroni, 2013), all'uso di flussi d'aria forzati, applicando i ventilatori all'interno delle strutture per migliorare la dispersione termica di evaporazione e ridurre l'umidità relativa. Per ridurre ulteriormente la temperatura, vengono utilizzati doccette in clima caldo umido o sistemi di nebulizzazione in clima caldo arido (Mitlohner et al., 2001).

CONCLUSIONI

Da quanto evidenziato, si può affermare che le tecnologie oggi disponibili, se utilizzate secondo un'ottica di PF, ovvero sfruttando i *feedback* per effettuare dei cambiamenti mirati nella gestione della razione e degli animali, possono migliorare fortemente l'efficienza alimentare dell'azienda, con tutte le conseguenze positive che essa comporta. Bisogna però tenere presente che l'applicazione di un sistema di alimentazione di precisione funziona al meglio se inserito in un sistema di gestione delle informazioni che regoli tutte le aree di cui si compone un allevamento.

BIBLIOGRAFIA

- Abeni F.P., 2020 - Precision feeding. - Summa animali da reddito, 2: 1-13.
- Abeni F., Galli, A., 2017 - Monitoring cow activity and rumination time for an early detection of heat stress in dairy cow. - Int. J. Biometeorol. 61: 417-425.

- Abeni F., Petrera F., Galli A., 2019 - A survey of Italian dairy farmers' propensity for precision livestock farming tools. - *Animals* 9: 202.
- Arai S., Okada H., Sawada H., Takahashi Y., Kimura K., Itoh T., 2019 - Evaluation of ruminal motility in cattle by a bolus-type wireless sensor. - *J. Vet. Med. Sci.* 81: 1835-184.
- Andrighetto I., Serva L., Gazziero M., Tenti S., Mirisola M., Garbin E., Contiero B., Grandis D., Marchesini G., 2018 - Proposal and validation of new indexes to evaluate maize silage fermentative quality in lab-scale ensiling conditions through the use of a receiver operating characteristic analysis. - *Anim.Feed Sci. Technol.* 242: 31-40.
- Bach A., Terré M., Vidal M., 2020 - Symposium review: Decomposing efficiency of milk production and maximizing profit. - *J. Dairy Sci.* 103: 5709-5725.
- Barrasa M., Lamosa S., Fernandez M.D., Fernandez E., 2012 - Occupational exposure to carbon dioxide, ammonia and hydrogen sulphide on livestock farms in north-west Spain. - *Ann. Agric. Environ. Med.* 19: 17-24.
- Bell M.J., Tzimiropoulos G., 2018 - Novel monitoring systems to obtain dairy cattle phenotypes associated with sustainable production. - *Front. Sustain. Food Syst.* doi: 10.3389/fsufs.2018.00031
- Benedet A., Manuelian C.L., Zidi A., Penasa M., De Marchi M., 2019 - Invited review: β -hydroxybutyrate concentration in blood and milk and its associations with cow performance. - *Animal* 13: 1676-1689.
- Berckmans D., 2004 - Automatic on-line monitoring of animal health and welfare by precision livestock farming. - In *Proceedings of the X International congress in animal hygiene-ISAH, Saint-Malo, France, 11-13 October 2004*; pp. 27-30.
- Berckmans, D., 2017 - General introduction to precision livestock farming. - *Anim. Front.* 7: 6-11.
- Bernabucci U., Lacetera N., Baumgard L.H., Rhoads R.P., Ronchi B., Nardone A., 2010 - Metabolic and hormonal acclimation to heat stress in domesticated ruminants. - *Animal*, 4: 1167-83.
- Berzaghi P., Riovanto R., 2009 - Near infrared spectroscopy in animal science production: principles and applications. - *Ital. J. Anim. Sci.* 8: 39-62.
- Bisaglia C. - Automazione della preparazione e distribuzione di razioni completamente miscelate (TMR) o *unifed*, per bovine da latte: possibilità tecnologiche e ricadute produttive, gestionali ed economiche. - Tesi di Dottorato, Scuola di Dottorato di Ricerca Innovazione Tecnologica per le Scienze Agro-Alimentari e Ambientali, Università degli Studi di Milano, a.a. 2011-2012, relatori R. Pretolani, L. Bodria.
- Bloch V., Levit H., Halachmi I., 2019 - Assessing the potential of photogrammetry to monitor feed intake of dairy cows. - *J. Dairy Res.* 86: 34-39.
- Britt J.H., Cushman R.A., Dechow C.D., Dobson H., Humblot P., Hutjens M.F., Jones G.A., Ruegg P.S., Sheldon I.M., Stevenson J.S., 2018 - Invited Review: Learning from the future-a vision for dairy farms and cows in 2067. - *J. Dairy Sci.* 101: 3722-3741.
- Cabrera V.E., Kalantari A.S., 2016 - Economics of production efficiency: Nutritional grouping of the lactating cow. - *J. Dairy Sci.* 99: 825-841.
- Caja G., Castro-Costa A., Knight C.H., 2016 - Engineering to support wellbeing of dairy animals. - *J. Dairy Res.* 83: 136-147.
- Calamari L., 2017- Precision feeding. - *Ital. J. Anim. Sci.* 16: 4-5.
- Carpinelli N.A., Rosa F., Grazziotin R.C.B., Osorio J.S., 2019. - Technical note: A novel approach to estimate dry matter intake of lactating dairy cows through multiple on-cow accelerometers. - *J. Dairy Sci.* 102: 11483-11490.
- Castillo A.R., Kebreab E., Beever D.E., Barbi J.H., Sutton J.D., Kirby H.C., France J., 2001 - The effect of protein supplementation of nitrogen utilization in lactating dairy cows fed grass silage diets. - *J. Anim. Sci.* 79: 247-253.

- Cole N.A., Clark R.N., Todd R.W., Richardson C.R., Gueye A., Greene L.W., McBride K., 2005 - Influence of dietary crude protein concentration and source on potential ammonia emissions from beef cattle manure. *J. Anim. Sci.* 83: 722-731.
- Cottle D.J., Velazco J., Hegarty R.S., Mayer D.G., 2015 - Estimating daily methane production in individual cattle with irregular feed intake patterns from short-term methane emission measurements. - *Animal*. 9: 1949-1957.
- De Nardi R., Marchesini G., Stefani A.-L., Barberio A., Andrighetto I., Segato S., 2013 - Effect of feeding fine maize particles on the reticular pH, milk yield and composition of dairy cows. - *J. Anim. Physiol Anim. Nutr.* 98: 504-510.
- Dórea J.R.R., Rosa G.J.M., Weld K.A., Armentano L.E., 2018 - Mining data from milk infrared spectroscopy to improve feed intake predictions in lactating dairy cows. - *J. Dairy Sci.* 101: 5878-5889.
- Evangelista, C. - Utilizzo di spettrofotometro NIR per la valutazione dell'adeguatezza della razione in vacche ad alta produzione. Tesi di Laurea Corso Di Laurea Magistrale In: "Scienze Agrarie E Ambientali. a.a. 2016-2017, relatore U. Bernabucci.
- Garnsworthy P.C., Craigon J., Hernandez-Medrano J.H., Saunders, N., 2012 - On-farm methane measurements during milking correlate with total methane production by individual dairy cows. - *J. Dairy Sci.* 95: 3166-80.
- Grant R., Smith W., Miller M., 2020 - Relationships Between Fibre Digestibility and Particle Size for Lactating Dairy Cows. Pages 47-57 in *Advances in Dairy Technology Proceedings of the 2020 Western Canadian Dairy Seminar*. University of Alberta Department of Agricultural, Food and Nutritional Science, Edmonton.
- Heinrichs J., 2013 - The Penn State Particle Separator. - *DSE - Penn State Ext.* 186:1-8.
- Grant R.J., Albright J.L., 2001- Effect of animal grouping on feeding behavior and intake of dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 84: E156-E163.
- Gruninger R.J., Ribeiro G.O., Cameron A., Mcallister T.A., 2019 - Invited review: application of meta-omics to understand the dynamic nature of the rumen microbiome and how it responds to diet in ruminants. - *Animal* 7: 1-12.
- Kung L. Jr., Shaver R.D., Grant, R.J., Schmidt R.J., 2018 - Silage review: Interpretation of chemical, microbial, and organoleptic components of silages. - *J. Dairy Sci.*, 101: 4020-4033.
- Le Cozler Y., Allain A., Xavier C., Depuille L., Caillot A., Delouard J.M., Delattre L., Luginbuhl T., Faverdin P., 2019 - Volume and surface area of Holstein dairy cows calculated from complete 3D shapes acquired using a high-precision scanning system: Interest for body weight estimation. - *Comput. Electron. Agric.* 165: 104977
- Leonardi C., Armentano L.E., 2003 - Effect of quantity, quality, and length of alfalfa hay on selective consumption by dairy cows. - *J. Dairy Sci.* 86: 557-564.
- Serva L., Marchesini G., Garbin E., Tenti S., Mirisola M., Segato S., Gerardi G., Andrighetto I., 2016 - Uso di uno strumento NIR portatile per la valutazione dell'omogeneità dell'*unifeed* distribuito in mangiatoia. *Atti del Simposio SISNIR* 2016.
- Mader T.L., Johnson L.J., Gaughan J.B., 2010 - A comprehensive index for assessing environmental stress in animals. - *J. Anim. Sci.* 88: 2153-2165.
- Magrin L., Brscic M., Lora I., Rumor C., Tondello L., Cozzi G., Gottardo F., 2017 - Effect of a ceiling fan ventilation system on finishing young bulls' health, behaviour and growth performance. - *Animal*. 11: 1084-1092.
- Marchesini G., Cortese M., Ughelini N., Ricci R., Chinello M., Contiero B., Andrighetto I., 2020 - Effect of total mixed ration processing time on ration consistency and beef cattle performance during the early fattening period. - *Anim. Feed Sci. Technol.* 262.
- Marchesini G., Mottaran Contiero B., Schiavon E., Segato S., Garbin E.,

- Tenti S., Andrighetto I., 2018 - Use of rumination and activity data as health status and performance indicators in beef cattle during the early fattening period. - *Veterinary J.* 231: 41-47.
- Mitlohner F.M., Morrow J.L., Dailley J.W., Wilson S.C., Galyean M.L., Miller M.F., Mcglone J.J., 2001 - Shade and water misting effects on behaviour, physiology, performances, and carcass traits of heat-stressed feedlot cattle. - *J. Anim. Sci.* 79: 2327-2335.
- Mullins I.L., Truman C.M., Campler M.R., Bewley J.M., Costa J.H.C., 2019 - Validation of a commercial automated body condition scoring system on a commercial dairy farm. - *Animals* 9: 287.
- Palmonari A., Gallo A., Fustini M., Canestrari G., Masoero F., Sniffen C.J., Formigoni A., 2016 - Estimation of the indigestible fiber in different forage types Estimation of the indigestible fiber in different forage types. - *J. Anim. Sci.* 94: 1-7.
- Phillips C.J., Pines M.K., Latter M., Muller T., Petherick J.C., Norman S.T., et al., 2010 - The physiological and behavioral responses of steers to gaseous ammonia in simulated long-distance transport by ship. - *J. Anim. Sci.* 88: 3579-89.
- Plaizier J.C., Krause D.O., Gozho G.N., McBride B.W., 2009 - Subacute ruminal acidosis in dairy cows: the physiological causes, incidence and consequences. - *Vet. J.* 176: 21-31.
- Potts S.B., Shaughnessy M., Erdman R.A., 2017 - The decline in digestive efficiency of US dairy cows from 1970 to 2014. *J. Dairy Sci.* 100: 5400-5410.
- Raffrenato E., Ross D.A., Van Amburgh M.E., 2018 - Development of an in vitro method to determine rumen undigested aNDFom for use in feed evaluation. - *J. Dairy Sci.* 101: 9888-9900.
- Schingoethe D.J., 2017 - A 100-year review: total mixed ration feeding of dairy cows. - *J. Dairy Sci.* 100: 10143-10150.
- Soriani N., Panella G., Calamari L., 2013 - Rumination time during the summer season and its relationships with metabolic conditions and milk production. - *J. Dairy Sci.* 96: 5082-5094.
- Shoshani E., Hetzroni A., 2013 - Optimal barn characteristics for high-yielding Holstein cows as derived by a new heat-stress model. - *Animal* 7: 176-182.
- Sova A.D., Leblanc S.J., McBride B.W., Devries T.J., 2013 - Associations between herd-level feeding management practices, feed sorting, and milk production in freestall dairy farms. - *J. Dairy Sci.* 96: 4759-4770.
- Sova A.D., Leblanc S.J., McBride B.W., Devries T.J., 2014 - Accuracy and precision of total mixed rations fed on commercial dairy farms. - *J. Dairy Sci.* 97: 562-571.
- Stangaferro M.L., Wijma R., Caixeta L.S., Al-Abri M.A., Giordano J.O., 2016° - Use of rumination and activity monitoring for the identification of dairy cows with health disorders: part II. Mastitis. - *J. Dairy Sci.* 99: 7411-7421.
- Stangaferro M.L., Wijma R., Caixeta L.S., Al-Abri M.A., Giordano J.O., 2016b - Use of rumination and activity monitoring for the identification of dairy cows with health disorders: Part III. Metritis. - *J. Dairy Sci.* 99: 7422-7433.
- Van Hertem T., Maltz E., Antler A., Romanini C.E.B., Viazzi S., Bahr C., Schlageter-Tello A., Lokhorst C., Berckmans D., Halachmi I., 2013 - Lameness detection based on multivariate continuous sensing of milk yield, rumination, and neck activity. - *J. Dairy Sci.* 96: 4286-4298.
- Wathes C.M., Kristensen H.H., Aerts J.M., Berckmans D., 2008 - Is precision livestock farming an engineer's daydream or nightmare, an animal's friend or foe, and a farmer's panacea or pitfall? - *Comput. Electron. Agric* 64: 2-10.
- Wolfger B., Jones B.W., Orsel K., Bewley J.M., 2017 - Technical note: Evaluation of an ear-attached real-time location monitoring system. - *J. Dairy Sci.* 100: 2219-2224.

DAI PEDOMETRI AL PROGESTERONE NEL LATTE: IL CONTRIBUTO DELLA TECNOLOGIA ALLA GESTIONE DELLA RIPRODUZIONE

GIANLUCA NEGLIA¹, ROBERTA MATERA¹, ALESSIO COTTICELLI¹,
MARTINA CROCIATI², MAURIZIO MONACI², ALESSANDRO FANTINI³,
ANGELA SALZANO¹

¹ Dipartimento di Medicina Veterinaria e Produzioni Animali – Università di Napoli Federico II

² Dipartimento di Medicina Veterinaria – Università di Perugia

³ Fantini Professional Advice S.r.L.

RIASSUNTO

Il management riproduttivo riveste un'importanza fondamentale nel garantire efficienza e profittabilità agli allevamenti bovini da latte. Negli ultimi anni, numerose ricerche condotte in tutto il mondo hanno messo in evidenza una crescente diminuzione della fertilità (Pryce et al., 2014), legata principalmente alle difficoltà riscontrate nella rilevazione del calore ed individuazione del momento ottimale per praticare l'inseminazione strumentale (IS). Le motivazioni che hanno portato a tali condizioni sono diverse. Va tenuto in considerazione, in primo luogo, quel fenomeno legato alla "intensivizzazione" dei sistemi zootecnici, che ha portato ad un incremento del numero di capi/azienda, riducendo sia il tempo disponibile/animale da parte degli operatori, sia la possibilità oggettiva di rilevamento degli estri. A ciò si aggiunga che l'incremento del livello produttivo registrato nella specie ha portato alla selezione delle cosiddette bovine "HGM" (*High Genetic Merit*), soggetti con un'elevata capacità metabolica e quindi con un notevole afflusso di sangue al fegato: in tali animali è la norma osservare delle minori concentrazioni ematiche di estrogeni proprio per il metabolismo epatico e, di conseguenza, una minore espressione dei segni legati all'estro ed una minore durata dello stesso (Wiltbank et al., 2006). Infine, si consideri che in talune specie, quali ad esempio quella bufalina, il comportamento estrale è evidente solo in una piccolissima percentuale dei soggetti e soltanto in taluni periodi dell'anno (Neglia et al., 2020).

Tutto ciò ha portato ad alcuni profondi cambiamenti nella gestione della riproduzione, con il ricorso sempre maggiore a protocolli ormonali di sincronizzazione degli estri o, ancor di più, dell'ovulazione. D'altra parte, l'utilizzo di ormoni per modificare lo stato estrale è stato da sempre una delle grandi sfide che hanno affrontato i ricercatori di tutto il mondo. Così i protocolli che un tempo erano utilizzati soltanto per la risoluzione di eventi patologici (corpi lutei persistenti, cisti ovariche, anaestro, ecc.) sono divenute pratiche di ordine più o meno routinario in tutte le specie di interesse zootecnico. Le tecniche di manipolazione del ciclo estrale sono diverse: dalla sincronizzazione dell'emergenza follicolare attraverso ormoni quali GnRH, hCG o estradiolo, al controllo della regressione del corpo luteo mediante prostaglandine, estradiolo e progesterone, fino ad arrivare alla sincronizzazione dell'ovulazione con GnRH, hCG, estradiolo, etc. (Stevenson, 2016). Va tuttavia considerato che se da un lato con l'utilizzo di protocolli ormonali è stato possibile ottenere un miglioramento nel management riproduttivo delle mandrie, dall'altro è sorta una certa diffidenza nei consumatori verso i prodotti di origine animale: in primo luogo carne, latte, formaggi sono stati spesso percepiti come poco salubri e pericolosi per la salute umana, sia perché possibile veicolo di ormoni, sia perché prodotti da animali senza rispettare il loro benessere.

LA RILEVAZIONE DELL'ESTRO

Anche se da un punto vista scientifico la possibilità che nei prodotti di origine animale siano presenti residui di ormoni è da considerarsi quanto meno remota, tali aspetti vanno tenuti in debita considerazione, al fine di evitare profonde crisi del mercato produttivo. È nata pertanto l'esigenza di individuare e mettere a punto nuove tecnologie in grado di migliorare il monitoraggio del benessere animale e garantire al contempo una buona efficienza riproduttiva della mandria. Si sono fatti così strada le tecnologie di "*Automated Estrus Detection*" (AED), nell'ambito dei sistemi legati al "*Precision Livestock Farming (o PLF)*" (Lovarelli et al., 2020): si tratta di nuove tecniche e strumentazioni in grado di garantire un monitoraggio continuo, automatizzato ed in tempo reale degli animali in allevamento, al fine di tenere sotto controllo le loro principali funzioni (produzione, riproduzione, benessere, ambiente, ecc.).

Al fine di migliorare l'efficienza riproduttiva, i sistemi AED si basano principalmente sulla rilevazione di alcuni indicatori che sono legati allo stato estrale degli animali. Ma quali sono le caratteristiche dell'estro? Senza voler entrare nel dettaglio, sappiamo che nella bovina il ciclo estrale ha una durata media di 21 giorni (Senger, 2005), durante i quali possiamo distinguere la fase estrale (giorno 0), che corrisponde al momento in cui l'animale è in calore, ed è presente un follicolo preovulatorio sull'ovaio: in questa fase, da un punto di vista ormonale, gli estrogeni (E_2) raggiungono la massima concentrazione, mentre è molto bassa la concentrazione di progesterone (P_4). Dopo l'ovulazione del follicolo inizia la fase di metaestro (giorni 1-3): si inizia a formare il corpo luteo dalla fovea sull'ovaio: i livelli di E_2 sono ovviamente più bassi mentre iniziano ad aumentare quelli di P_4 . A partire dal 3-4 giorno e fino al 17-18 del ciclo il corpo luteo è pienamente attivo, per cui sono elevati i livelli di P_4 ematici, mentre sono in linea di massima bassi quelli di E_2 . È questa la fase di diestro, quando, in caso di accoppiamento, avviene il cosiddetto "*transitory attachment*" dell'embrione in

utero. Se però il concepimento non avviene, intorno al giorno 17-18 del ciclo, dalla mucosa endometriale si liberano prostaglandine ($PGF_{2\alpha}$), che tramite il circolo utero-ovarico giungono al corpo luteo, determinandone la vasocostrizione e quindi la regressione. Inizia così la fase di proestro (18-21), durante la quale si assiste ad una progressiva riduzione del P_4 ed un incremento dei livelli di E_2 , fino al calore successivo.

TECNOLOGIE DI AUTOMATED ESTRUS DETECTION (AED)

La conoscenza dei meccanismi ormonali che sono alla base del ciclo estrale è di fondamentale importanza per comprendere a pieno le tecniche AED (Mottram, 2016), in quanto queste si basano sulla rilevazione di alcuni indicatori, che sono legati proprio all'assetto ormonale degli animali. Tuttavia, un problema comune a tutte le informazioni raccolte utilizzando tecnologie AED, ad eccezione del comportamento di monta, è che alcuni cambiamenti nel comportamento e nella fisiologia non sono esclusivi dell'estro: di conseguenza, è necessario utilizzare algoritmi specifici dei software (una serie di regole da seguire durante i calcoli), per confrontare il comportamento corrente di un animale con un periodo di riferimento specifico, creando un avviso (o *alert*) quando viene superata una soglia impostata. Gli eventi estrali correttamente identificati sono definiti veri positivi (TP), quelli non individuati sono falsi negativi (FN), gli eventi di non estro non allertati sono veri negativi (TN) e gli eventi di non estro allertati sono falsi positivi (FP). La rilevazione è un equilibrio tra sensibilità e specificità. La sensibilità (Se), la probabilità che un evento venga individuato, è uguale a $TP/(TP+FN) * 100$, mentre la specificità (Sp), la probabilità che quando un evento non si verifica non venga generato alcun avviso, è uguale a $TN/(TN+FP) * 100$. Infine, la corretta efficienza del sistema viene individuata con l'accuratezza che è data da $[(TP+TN)/(TP+TN+FP+FN)]$, mentre il tasso di errore del sistema è dato da $[FP/$

(TP+FP) *100]. È la conoscenza e l'applicazione di tali parametri alle diverse tecnologie AED che ne definisce l'efficienza. Spesso si assiste ad una contrapposizione tra sensibilità e specificità, poiché un aumento della prima provoca una diminuzione del secondo parametro. I sistemi più efficienti sono quelli che mostrano un corretto bilanciamento tra sensibilità e specificità.

INDICATORI FISICI

Ma quali sono gli indicatori che possono essere rilevati con le tecnologie AED? Si distinguono in fisici e comportamentali. Gli **indicatori fisici** possono manifestarsi all'inizio o durante l'estro. Sebbene non sia facile la loro individuazione, l'utilizzo di alcuni approcci può risultare particolarmente utile. Tra gli indicatori fisici è possibile ricordare la **presenza di muco vaginale** e l'incremento della temperatura corporea. Il liquido vaginale è il primo mezzo fisiologico che gli spermatozoi incontrano nel tratto genitale femminile. Il muco vaginale diventa più abbondante, acquoso, trasparente, e più facile da attraversare dagli spermatozoi durante la fase follicolare del ciclo ovarico (proestro ed estro). Inoltre, la conduttività elettrica del muco vaginale e cervicale cambia in modo significativo durante l'estro. Sebbene questo segno possa essere valutato in campo, richiede almeno in parte l'intervento dell'uomo, escludendo parzialmente dalle tecnologie del PLF. L'altro indicatore fisico da tenere in considerazione è l'**incremento della temperatura corporea**: diversi autori hanno messo in evidenza un incremento di circa 0,3 – 0,4°C intorno al picco di LH, durante l'estro, sebbene ancora non siano chiari i meccanismi eziopatogenetici di tale incremento. È stato ipotizzato che l'aumento della temperatura durante l'estro sia associato all'incremento dell'attività motoria osservata durante l'estro (vd. in seguito), sebbene anche in vacche a stabulazione fissa, il cui movimento è ristretto, sia stato registrato un aumento della temperatura vaginale durante l'estro. Altre ipotesi per l'aumento della temperatura

vaginale sono un aumento del flusso sanguigno nell'area e la correlazione con l'aumento dell'ormone luteinizzante (LH) durante il quale si è registrato un aumento medio della temperatura di 0,48°C (0,40-3,22°C) in vacche Holstein. In ogni caso, il significativo aumento di temperatura a livello vaginale perdura per circa 6-7 ore, sia nelle bovine da latte che in quelle da carne, rappresentando un interessante strumento per la rilevazione dell'estro (Reith, 2018).

La temperatura può essere misurata con diverse tecnologie: strumenti in grado di misurare la temperatura del latte, boli localizzati a livello ruminale, sensori vaginali ed attraverso termografia. La valutazione della temperatura del latte è stato uno dei primi approcci utilizzati in tal senso, ma è ancor oggi oggetto di forte discussione, a causa dell'enorme numero di variabili che possono influire su di essa. Il suo incremento, pertanto, risulta altamente aspecifico, con livelli bassi di sensibilità e specificità. L'incremento della temperatura a livello ruminale è ottenibile attraverso i **boli ruminali**, sebbene anche in questo caso la metodica sia alquanto aspecifica: variazioni nella razione alimentare che determinino un aumento delle fermentazioni, possono facilmente determinare anche un incremento della temperatura ruminale. Altri approcci seguiti si sono basati sull'utilizzo e l'applicazione di **microprocessori localizzati a livello vaginale**, anche se la stabilità degli stessi non è risultata particolarmente efficiente. Risultati promettenti si sono raggiunti negli ultimi anni con l'utilizzo di tecnologia a infrarossi (**termografia**) (Vicentini et al., 2020). La metodica si basa sul concetto che la temperatura corporea della vacca oscilla durante il ciclo estrale: più bassa appena prima dell'estro, alta il giorno dell'estro e di nuovo bassa al momento dell'ovulazione, rispetto alle alte temperature osservate durante la fase luteale. In generale si sono registrati incrementi della temperatura per circa 6 ore sia in vacche da latte che da carne. Probabilmente la diminuzione di temperatura rilevata prima dell'estro può derivare dai ridotti livelli di P₄ dopo la luteolisi, sebbene non sia stata registrata alcuna

correlazione tra la temperatura corporea ed i livelli sierici di P_4 . La sensibilità e la specificità di questo metodo per il rilevamento dell'estro rispetto al progesterone plasmatico variano rispettivamente dal 58 al 92% e dal 29 al 57%, a seconda dell'algoritmo utilizzato. Uno dei limiti all'applicazione della termografia è rappresentato dalla temperatura ambientale, che può alterare le misurazioni, incrementando il numero di falsi positivi (Perez Marquez et al., 2019). Inoltre, va accuratamente ponderato la parte del corpo dove andare a registrare la temperatura: l'automazione del monitoraggio della temperatura vulvare è impegnativa a causa della contaminazione fecale e del posizionamento della coda, per cui posizioni alternative, come l'occhio e la parte posteriore dell'orecchio potrebbero essere più appropriate, ma al momento sono allo studio.

INDICATORI COMPORTAMENTALI

La maggior parte degli **indicatori comportamentali** si basa sulla misurazione automatizzata dell'attività motoria degli animali: soprattutto in mandrie di dimensioni rilevanti è stata descritta una sensibilità dei cosiddetti "attivometri" intorno all'80%, rispetto a circa il 50% descritto con l'osservazione visiva degli animali (Mayo et al., 2019). In letteratura sono stati suggeriti numerosi cambiamenti comportamentali che possono essere legati ad una condizione di estro. Il **riflesso di immobilità** è probabilmente il segno più tipico legato alla fase estrale, in quanto si manifesta quasi esclusivamente negli animali in questa fase: la vacca in estro rimane immobile per alcuni secondi quando viene montata da un'altra bovina della mandria. Questo comportamento può essere monitorato automaticamente utilizzando tecnologie basate su sensori a pressione localizzati sulla regione sacrale della vacca. Si tratta di trasmettitori miniaturizzati a onde radio collegati a un sensore di pressione racchiuso in una custodia di plastica rigida e incorporati in una borsa di plastica. Il dispositivo è incollato caudalmente e viene attivato dal peso

di un'altra vacca in seguito alla monta per un minimo di 2 secondi (Fig. 4). Nel momento in cui viene attivato il sensore, viene immediatamente trasmesso ad un pc l'ID della bovina, la data, l'ora e la durata della monta. Sebbene molto semplici da utilizzare e in grado di fornire un'elevata sensibilità, tali sistemi hanno dei limiti, legati soprattutto al tipo di pavimentazione su cui sono allevati gli animali, il tempo minimo di 2 sec richiesto per l'attivazione del sensore ed il lavoro richiesto per rimuovere i trasmettitori dalle bovine.

Altro segno particolarmente importante che può essere valutato è l'**incremento dell'attività motoria**, osservato negli animali durante il proestro e l'estro. Nelle bovine Frisone, ad esempio, è stato osservato che l'ovulazione avviene in media 29-33 ore dopo l'inizio dell'aumento dell'attività e 17-19 ore dopo la fine dell'aumento dell'attività motoria. Questo indicatore comportamentale è stato da decenni considerato uno dei principali segnali da rilevare per individuare lo stato estrale degli animali, per cui sono state sviluppate diverse tecnologie. Tra queste, vanno sicuramente annoverate i pedometri e gli attivometri/accelerometri. I pedometri sono degli apparecchi localizzati a livello della gamba della bovina ed in grado di registrare il numero di passi compiuti nell'unità di tempo. Le vacche in estro sono identificate da un aumento della locomozione superiore al valore medio di attività registrato - nello stesso arco temporale - per i giorni precedenti. Gli attivometri/accelerometri misurano la variazione di velocità e la componente di accelerazione statica della gravità, mediante tecnologia a 3D. La posizione del sensore può essere determinata con elevata precisione quando il sensore non è in movimento: se il sensore è in movimento, la posizione può essere calcolata solo se è noto l'orientamento del dispositivo rispetto alla gravità. Possono essere localizzati al collo (collari), alle orecchie (bottoni auricolari) o alle gambe di ciascuna vacca e misurano le accelerazioni orizzontali continue relative ai movimenti verso l'alto della testa e del collo della vacca durante la deambulazione e il comportamen-

to di monta. I dati presentano l'attività media mostrata come un indice di attività generale che può essere memorizzato a intervalli di 1 o 2 ore al giorno.

Una serie di **comportamenti secondari** che sono mostrati più intensamente dalle vacche in estro (irrequietezza, monta, essere montati senza riflesso di immobilità, annusare la vulva di un'altra vacca, riposare con il mento sulla schiena di un'altra, leccare, ecc.) possono essere considerati per valutare lo stato estrale. Questi comportamenti possono essere registrati ed analizzati con sistemi di videoregistrazione e analisi di immagine: le videocamere possono essere localizzate a circa 3 metri di altezza nella stalla e collegate ad un software di gestione video che fornisce la visualizzazione delle sequenze video memorizzate. Il software della telecamera genera icone a diversi intervalli di tempo a seconda della soglia di rilevamento selezionata (in genere ogni 1, 10 o 60 min), e tutte le sequenze in cui gli animali sono inattivi o poco attivi vengono eliminate: pertanto, solo le sequenze video di interesse vengono visualizzate in modalità normale o accelerata. Tali sequenze sono analizzate e solo gli animali che presentano segni secondari riconducibili al calore vengono individuati con un alert. Chiaramente l'efficienza del sistema è strettamente legata alla risoluzione della camera ed all'efficienza del software di analisi.

Altro comportamento secondario, riconducibile parzialmente anche alla fase estrale è la **diminuzione della ruminazione** (Reith et al., 2012), legata principalmente alla riduzione dell'ingestione di alimento. Diverse prove sperimentali hanno messo in evidenza una diminuzione dell'attività ruminale dal 15 al 19%, particolarmente in animali molto produttivi (>40 kg/die), anche se è stata registrata una variabilità enorme (-70 fino a +16%). Al fine di monitorare l'attività ruminale possono essere utilizzate due tecnologie: gli accelerometri, cui si è accennato in precedenza, ed il monitoraggio automatizzato della ruminazione utilizzando un sistema di microfoni posto sul collo della vacca, per identificare il rigurgito e la rimasticazione del bolo. I microfoni possono essere uti-

lizzati anche per valutare le **vocalizzazioni** degli animali: in prossimità della fase estrale, il tasso di vocalizzazione risulta aumentato, con l'estensione delle vocalizzazioni a seconda dello stato del ciclo estrale (di-estro <pro e post-estro <estro) (Röttgen et al., 2020). Tale tecnologia, tuttavia, è utilizzata oggi solo a fini sperimentali.

INDICATORI DI PRECISIONE

La tecnica sicuramente più recente e che è da molti considerata il gold standard per la rilevazione dell'estro, è rappresentata dalla determinazione della **concentrazione di progesterone nel latte** mediante tecniche immunoenzimatiche (Fig. 4) (Omontese et al., 2020). I livelli di progesterone possono essere utilizzati sia per l'individuazione di stati patologici che, appunto, dello stato estrale (Williams et al., 2018). La probabilità (o "rischio") che si verifichi l'evento è tra 0 e 100% e l'utente può impostare le proprie soglie di allarme all'interno del sistema. L'output dei modelli biologici è presentato in tabelle e grafici nell'interfaccia utente ed è possibile filtrare gli allarmi che al momento non sono rilevanti (quali ad es. allarmi di calore nella prima fase di lattazione). Il monitoraggio di questo parametro consente ovviamente un monitoraggio continuo delle bovine e di individuare precisamente la finestra nella quale praticare l'IS. A proposito di questo fece molto riflettere un articolo scientifico pubblicato nel 2000 da Theriogenology dal titolo "provocatorio" importance of insemination only cows in estrus (Sturman et al., 2000). Gli autori dimostrarono attraverso un'importante analisi statistica che molte bovine venivano fecondate o troppo prima o troppo tardi rispetto al periodo dell'ovulazione. Il tasso di concepimento osservato era inversamente proporzionale alla concentrazione di progesterone ematico (P₄B) rilevato nelle singole bovine. Negli allevamenti intensivi le bovine vivono sempre su superfici cementate spesso scivolose e con uno spazio ridotto a disposizione per esibire il loro comportamento estrale per cui la rilevazione dei calo-

ri, anche assistita da sensori è spesso difficile. La determinazione in-line e real-time durante la mungitura della concentrazione del progesterone del latte (P_4M) può essere la migliore risposta al problema di individuare le bovine in estro e fecondarle al tempo giusto. Il progesterone è un ormone steroideo solubile nei grassi e la sua concentrazione nel latte è solo lievemente più alta di quella del sangue. La possibilità che ha un algoritmo di coordinare il campionare automaticamente il latte di determinate bovine più volte a settimana e di analizzare real-time la sua concentrazione nel latte da grandi opportunità per migliorare la fertilità in allevamento. A titolo di semplificazione pratica, e con la finalità di utilizzare la determinazione quantitativa del progesterone del latte come biomarker per decidere quando fecondare le bovine a prescindere del comportamento estrale, è bene ricordare alcuni concetti. Si considera cessata l'attività luteinica quando il P_4M è inferiore a 5.0 ng/ml che corrisponde grosso modo ai 2 ng/ml del plasma sanguigno. Quando si utilizza l'osservazione visiva del calore si considera ottimale fecondare le bovine dalle 12 alle 24 ore dopo l'inizio del "ferma alla monta", sintomo difficile da rilevare visivamente ma per il quale esiste il supporto di specifici device. Il P_4M diventa < 5.0 ng/ml 80 ore dopo la fecondazione. Secondo uno studio di J.B. Roelofs ed altri (2006) la concentrazione di P_4M diventa < 15 ng/ml a 97.7 ± 17.8 ore prima dell'ovulazione, < 5 ng/ml 79.7 ± 11.2 ore prima dell'ovulazione e < 2 ng/ml 70.7 ± 16.8 ore prima dell'ovulazione. Il P_4B scende sotto i 4 ng/ml 90.5 ± 19.6 ore prima dell'ovulazione e < 2 ng/ml 75.0 ± 12.2 ore dopo. In un altro lavoro di J.B. Roelofs ed altri (2005) l'ovulazione avviene dopo 30.0 ± 5.1 ore dall'inizio dell'estro e da 26.4 ± 5.2 ore dopo il "ferma alla monta".

In un'elaborazione fatta da De Laval e FOSS su dati di O'Connor M.L (1993) si evidenzia come il tempo ottimale per fecondare le bovine da latte è dalle 12 e le 24 ore dopo l'inizio del "ferma alla monta" o nel caso in cui si utilizzasse un apposito sistema a partire dall'allarme del livello di P_4M da esso registrato (Fig. 1).

La misurazione in-line del P_4M oltre a permettere di sospendere sia la rilevazione visiva che tramite sensori del comportamento estrale e dare un'indicazione di massima a quante ore dopo il nadir del progesterone fecondare le bovine permette di studiare con molta attenzione la forma e l'ampiezza della curva del progesterone nel divenire dei cicli estrali. È stato sviluppato da T.C. Bruinje ed altri (2019) un modello di calcolo che in funzione dell'andamento del P_4M riesce a calcolare la percentuale di riduzione della gravidanza (Fig. 2).

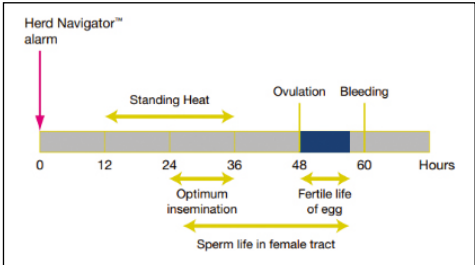


Fig. 1 – Tempistica degli eventi durante un calore. L'allarme avverrà circa 12 ore prima dell'inizio del "ferma alla monta", e quindi il tempo appropriato di inseminazione sarà 24-36 ore dopo (ridisegnata da O'Connor, 1993).

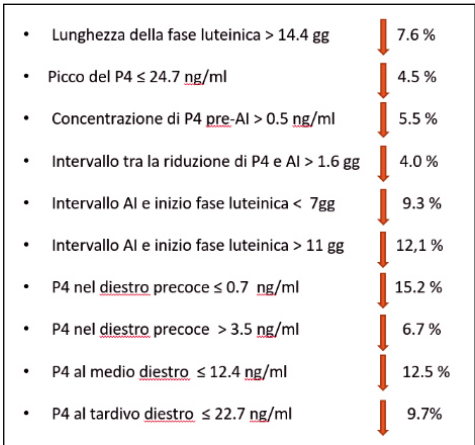


Fig. 2 – Parametri associati ad una minore probabilità di gravidanza (rappresentati come percentuali di diminuzione della probabilità di gravidanza). Da Bruinje et al (2019).

RILEVAZIONE PARTO

Il monitoraggio e l'assistenza al parto rappresentano un punto debole per l'allevamento bovino: sebbene a volte trascurato, il parto è un evento cruciale sia per la madre che per il neonato. Il tasso di distocia negli USA per le Holstein è di circa il 28,6-51,2% per le primipare e di 10,7-29,4% per le multipare, mentre in Europa è riportato al 3-22% nelle primipare e al 2-13% nelle multipare. La distocia comporta un incremento della mortalità dei vitelli e una compromissione dell'assorbimento delle immunoglobuline (Schuenemann et al., 2011). L'incidenza della mortalità dei vitelli entro le 48 ore di vita è di circa il 5,3-13,2% con picchi nei vitelli figli di primipare; nei sistemi al pascolo australiani raggiunge il 20% nelle primipare di razze da carne.

Il miglioramento del monitoraggio e dell'assistenza al parto è quindi essenziale per un rapido riconoscimento e risoluzione del parto distocico e per una tempestiva somministrazione di colostro. Sfortunatamente, l'incremento del numero dei capi/azienda così come la contrazione del tempo a disposizione per la cura del singolo animale rende molto saltuaria la presenza del personale aziendale in prossimità della sala parto; di conseguenza la maggior parte delle bovine partorisce senza essere monitorata né assistita, soprattutto se il parto avviene durante le ore notturne. Nelle ultime decadi sono stati proposti diversi sistemi, più o meno automatizzati, per predire il momento del parto (Borchers et al., 2017).

Dispositivi elettronici

La maggior parte dei dispositivi in commercio è in grado di monitorare i cambiamenti comportamentali (tempo di ruminazione, tempo in piedi, numero di passi, tempo di riposo e durata dei periodi di riposo, sollevamento della coda), modifiche della temperatura corporea o intravaginale, espulsione del vitello o una combinazione di questi (Zehner et al., 2019).

Sensori di posizione e di attività motoria

Un dispositivo a base di mercurio è stato utilizzato per monitorare l'orientamento delle zampe posteriori nelle bovine al termine della gravidanza (Proudfoot et al., 2009). I dati hanno mostrato che le vacche con distocia hanno aumentato il numero di passaggi dal decubito alla stazione quadrupedale e viceversa da 24 ore prima del parto (soglia: 33,8 transizioni/giorno; $Se=77,8\%$; $Sp=77,8\%$). La combinazione del numero di passi, del tempo trascorso in piedi e del numero di transizioni misurati attraverso un datalogger potrebbe essere combinata in un indice di attività ed essere utilizzata per prevedere il parto con un'approssimazione di 6 ore (Titler et al., 2015).

Esistono sensori di posizione che, applicati all'arto posteriore della bovina, restituiscono l'orientamento spaziale dell'animale (decubito, stazione quadrupedale, transizione dalla stazione al decubito e viceversa). Ouellet et al. (2016) hanno utilizzato un datalogger ed hanno riportato una diminuzione del tempo di riposo di 52 ± 28 min, rispetto ai quattro giorni precedenti il parto, mentre le transizioni sono incrementate di 2 ± 1 nel giorno del parto, rispetto allo stesso periodo ($P < 0,05$).

Sensori per attività di ruminazione

Il tempo trascorso a ruminare può essere monitorato attraverso un microfono a collare, come negli studi riportati da Schirrmann et al. (2013) e Borchers et al. (2014). Rispetto alla linea basale, le vacche hanno trascorso in media 63 ± 30 min/24 h in meno a ruminare nelle 24 ore prima del parto. Clark et al. (2015) hanno impiegato un dispositivo, osservando una diminuzione del 33% il giorno prima del parto, con $Se=70\%$ e $Sp=70\%$; in questo studio era applicato un livello soglia del 10% di diminuzione della ruminazione rispetto al basale. Büchel and Sundrum (2014) hanno registrato la durata della ruminazione attraverso un sistema di elettromiografia applicato alla man-

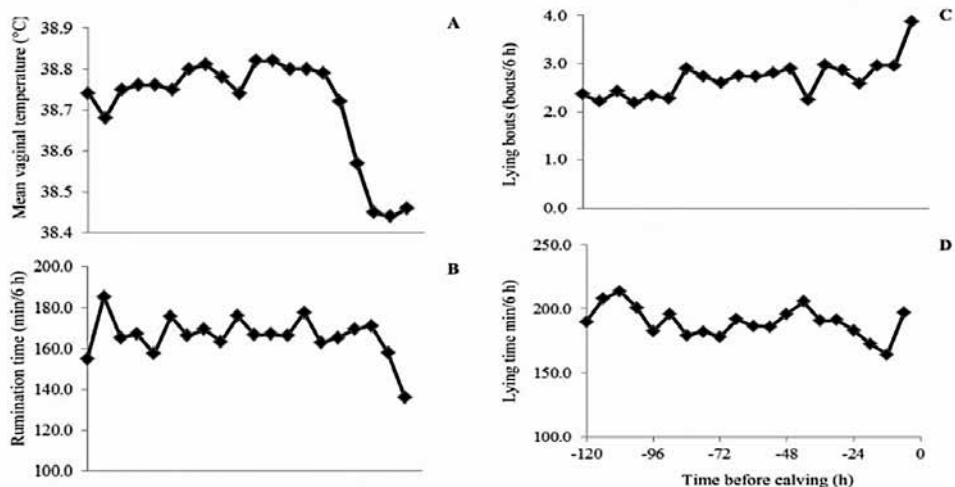


Fig. 3 – Temperatura vaginale media (A; SEM = 0,08), tempo medio di ruminazione (B; SEM = 13,20), numero medio di periodi di riposo (C; SEM = 0,32) e il tempo medio di riposo (D; SEM = 14,05) nelle ultime 120 ore prima del parto in vacche da latte multipare (n = 32). Da Ouellet et al., 2016.

dibola delle vacche da latte. Le bovine trascorrevano in media $95,5 \pm 30,8$ min/6 h a ruminare, ma questo intervallo diminuiva a $69,9 \pm 28,5$ min/6 h con l'avvicinarsi del parto, con una differenza media del 27% ($P < 0,01$).

È possibile utilizzare un accelerometro tridimensionale posizionato sulla marca auricolare delle vacche per monitorare la ruminazione, sulla base dei movimenti dell'orecchio, al fine di prevedere il parto. È stato osservato che le vacche hanno trascorso, in media, 41 ± 17 min/24 h ($P < 0,05$) meno tempo a ruminare il giorno del parto rispetto ai 4 giorni precedenti (Ouellet et al. 2016; Fig. 3).

Tuttavia, gli autori dello studio avvertono del fatto che il tempo totale di ruminazione e la relativa diminuzione intorno al parto, dipendono dal contenuto di NDF della dieta. Di conseguenza se si desidera utilizzare il tempo di ruminazione come indicatore di parto imminente sarebbe più opportuno creare prima una baseline relativa al singolo animale e stabilire su questa una soglia di allarme, piuttosto che impostare un intervallo di tempo assoluto.

Sensori combinati

Rutten et al. (2017) hanno valutato la sensibilità e la specificità di un sensore per marca auricolare come predittivi del parto nelle vacche da latte. I dati includevano il tempo di alimentazione e ruminazione, l'attività e la temperatura dell'orecchio su base oraria. La sensibilità dell'algoritmo per la previsione esatta del parto entro un intervallo di un'ora era troppo bassa (Se: 21,2%; Sp: 99,1%) mentre la sensibilità migliorava al 51% per una finestra temporale di 6-12 ore. Tuttavia, un intervallo così ampio ha aumentato il rischio di falsi allarmi e gli stessi autori hanno concluso che l'algoritmo non è al momento adatto ad uno uso in un contesto aziendale.

Potrebbe essere utilizzato un sensore auricolare triassiale che analizza il tempo di ruminazione, l'attività e il tempo di riposo (Fig. 4) ed un algoritmo creato da Krieger et al., (2019) può utilizzare i dati per predire l'inizio del parto nella prossima ora (Se=54%, Sp=95%) o nelle prossime 12 ore (Se=35%, Sp=95%). Anche in questo caso gli autori hanno giudicato l'algoritmo impreciso, poiché generava troppi allarmi falsi positivi.

O in alternativa, un sistema che consiste in una combinazione di un sensore a fascia, che monitora i movimenti della mandibola, insieme a un accelerometro 3D fissato a un arto posteriore per registrare la locomozione (Fig. 4). Fadul et al. (2017) lo hanno utilizzato per predire il parto nelle successive 3 ore (Se=88,9% e Sp=93,3% e Se=85%, Sp=74% per le vacche primipare e multipare, rispettivamente). Zehner et al. (2019) hanno valutato le prestazioni di un dispositivo simile, mostrando Se e Sp simili; tuttavia, anche questi ultimi hanno riscontrato un numero elevato di falsi allarmi, fatto che influenza negativamente l'idoneità per un'applicazione nella pratica sul campo.

Benaissa et al. (2020) hanno combinato i dati di un accelerometro fissato al collo, un altro fissato ad un arto posteriore e di un sensore di localizzazione per prevedere il parto e l'estro nelle vacche Holstein. La combinazione dei dati dei tre sensori per prevedere il parto nelle 4-2 ore ha portato a Se=67-79% e Sp=63-69%, giudicate non ottimali.

Un algoritmo di machine-learning è stato applicato ai dati raccolti da un accelerometro a collare, e da un accelerometro triassiale montato sulla coda per prevedere il momento del parto (Miller et al., 2020). L'evento di sollevamento della coda era il parametro più importante per la previsione del parto e l'espulsione del vitello poteva essere prevista con successo in una finestra temporale di quattro ore con lievi differenze nei bovini da latte e da carne (Se=78,6%; Sp=83,5% e Se=76,1%; Sp=83,3%, rispettivamente).

Peng et al. (2020) hanno utilizzato un'unità di misurazione inerziale applicata al collare per rilevare i cambiamenti di attività in bovine di razza Nera Giapponese attraverso un modello Long Short Time Memory-Recurrent Neural Network. L'algoritmo ha classificato correttamente i comportamenti relativi alla ruminazione, alla stazione quadrupedale, di decubito e di transizione, ma dovrebbe essere raffinato per l'applicazione come un predittore di parto.

Sensori di movimento della coda

Può essere utilizzato un accelerometro creato appositamente per adattarsi alla coda delle vacche e per monitorare i movimenti della coda al fine di prevedere il parto (Fig. 4) (Giaretta et al., 2020). Una deviazione significativa dalla linea basale calcolata ogni ora nei movimenti della coda porta all'allarme parto, che viene inviato agli operatori tramite GSM. Il dispositivo ha previsto con successo il parto nelle successive 24 ore con Se=100% e Sp=95%. Si otteneva Se=94% e Sp=77% per una finestra temporale di 3 ore, con un numero maggiore di allarmi (quattro allarmi nell'intervallo di 24 ore prima del parto effettivo) in un caso di distocia dovuta a gemellarità. Due studi appena pubblicati (Voß et al., 2020; Horváth et al., 2021) hanno valutato la performance del dispositivo in condizioni di campo. È stato identificato un alto numero di allarmi falsi positivi, di eventi di distacco del sensore, scivolamento lungo la coda o di edema/irritazione locale che hanno richiesto la temporanea rimozione del dispositivo (circa il 25% dei casi). La performance per la predizione del parto era molto buona con una finestra temporale di 24 ore, ma si riduceva drasticamente se la finestra era ristretta a 2 ore.

Sensori di temperatura intraruminali

I sensori ruminali (Fig. 4) per il monitoraggio della temperatura permettono di rilevare un calo di circa 0.3°C tra le 48 e le 24 ore prima del parto (Cooper-Prado et al., 2011), o 0.25°C 24 ore prima dell'evento come riportato da Costa et al. (2016).

Kovács et al. (2017) hanno utilizzato un datalogger intraruminale ed hanno osservato che la temperatura mostrava un calo di $0,48 \pm 0,05^\circ\text{C}$ circa 20 ore prima del parto nelle vacche con parto normale, mentre negli animali con distocia la temperatura è scesa 32 ore prima del parto ($0,23 \pm 0,02^\circ\text{C}$). Sebbene in questo caso la previsione del parto non fosse ottenuta con sufficiente precisione, la possibi-

lità di individuare le bovine con distocia offre una prospettiva interessante.

Lo svantaggio di tali dispositivi consiste nel fatto che non sono recuperabili e quindi riutilizzabili.

Sensori di temperatura intravaginali

I sensori intravaginali possono essere facilmente recuperati e riutilizzati per più animali. Ouellet et al. (2016) hanno adattato un data logger, inserito nell'involucro di un CIDR privo di progesterone. Gli autori confermano che il giorno del parto è stata osservabile una differenza nella temperatura vaginale ($0,3 \pm 0,03^{\circ}\text{C}$, $P < 0,05$) rispetto al precedente periodo di osservazione di quattro giorni (Fig. 3).

Un sensore di temperatura modificato applicato alla base della coda può essere impiegato per rilevare in modo continuo la temperatura nelle bovine per predire il parto attraverso algoritmi di machine-learning (Higaki et al., 2020). Il dispositivo ha portato all'identificazione di una diminuzione significativa della temperatura della superficie della base della coda ($0,6\text{-}0,9^{\circ}\text{C}$ rispetto alla linea di base), nelle 6-24 ore precedenti l'evento con $\text{Se}=81,8\text{-}85,3\%$ e $\text{Sp}=67,5\text{-}71,9\%$. Al meglio delle conoscenze degli autori, il sensore descritto non è ancora disponibile in commercio.

Sensori intravaginali di temperatura ed espulsione del feto

Esiste un sensore di temperatura che monitora sia la temperatura vaginale che l'espulsione del dispositivo (Fig. 4) (Ricci et al., 2018; Horváth et al., 2021). Il dispositivo è prodotto in bianco, taglia grande (vacche) e turchese, taglia piccola (manze) e una volta inserito nel canale vaginale, la temperatura viene registrata ogni 12 ore (8:00 e 20:00) fino al parto. Per la temperatura è stato impostato un cutoff di $38,2^{\circ}\text{C}$ al di sotto del quale è inviato un allarme di parto nelle seguenti 24 ore ($\text{Se}=86\%$, $\text{Sp}=91\%$), cui fa seguito un secondo allarme nel momento in cui il dispo-

sitivo è espulso (sacco e/o feto impegnato nel canale del parto).

Un dispositivo simile in grado di registrare la temperatura vaginale ogni 5 minuti è stato utilizzato da Sakatani et al. (2018). Questo dispositivo invia un allarme a circa 24 ore dal parto (temperatura inferiore di $0,4^{\circ}\text{C}$ rispetto alla linea basale) ed all'espulsione per impegno del feto nel canale del parto.

Sensori di espulsione del feto

La separazione delle labbra vulvari durante la fase espulsiva può essere rilevata nelle bovine attraverso sensori magnetici suturati alla cute vulvare, come avviene nella pratica equina (Marchesi et al., 2013), con $\text{Se}=100\%$ e valore predittivo positivo=95%.

Anche se questo dispositivo si è dimostrato adatto per la corretta identificazione del parto nei bovini, l'applicazione richiede la supervisione del veterinario a causa della necessità di un'anestesia locale.

Alcuni sensori di espulsione fetale sono in grado di rilevare sia la temperatura vaginale sia l'impegno del canale del parto. Esiste un dispositivo, infatti, che rileva anch'esso la presenza del sacco fetale o del feto nel canale del parto, al momento del travaglio (Henningsen et al., 2017) con una $\text{Se}=78\%$ e $\text{Sp}=93\%$. Sebbene il dispositivo avvisasse correttamente il personale, gli autori hanno osservato una scarsa tollerabilità locale, riportando irritazione della mucosa e disagio negli animali dopo applicazione. Inoltre, hanno suggerito un'interferenza con il processo di parto: il dispositivo potrebbe causare la rottura prematura dei sacchi fetali, influenzando così negativamente la dilatazione del canale del parto e aumentando il tasso di distocia.

Un altro tipo di dispositivo intravaginale è stato utilizzato con successo nella specie bovina e bufalina (Palombi et al., 2013; Crociati et al., 2020; Rossi et al., 2020). Il dispositivo è composto da sensori fisici in grado di monitorare sia la temperatura che la luce; dopo essere stato posizionato all'interno del canale vaginale i sensori sono in grado di percepire il momento di espulsione (sac-

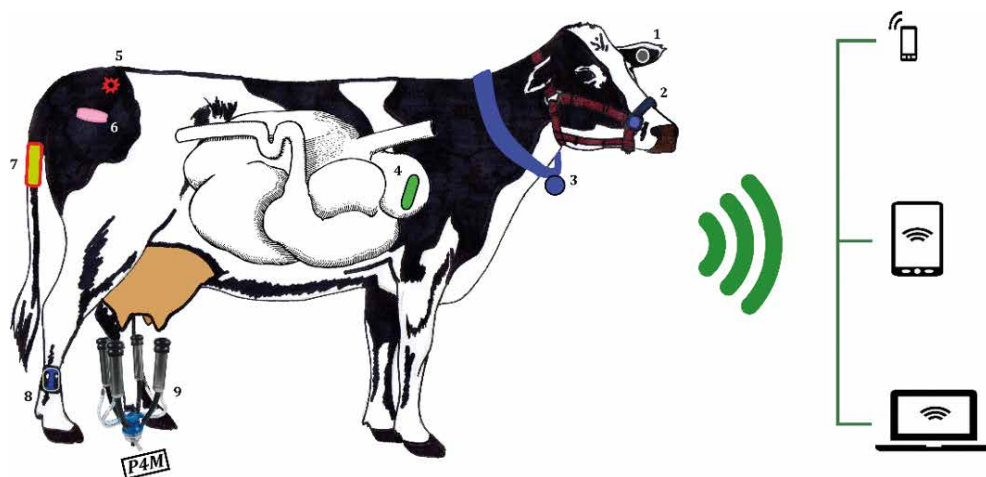


Fig. 4 – Tecnologie del Precision Livestock Farming per la raccolta dei dati in una vacca: (1) sensore auricolare, (2) sensore a fascia, (3) collare con contrappeso, (4) bolo reticolo-ruminale, (5) sensore a pressione per rilevamento monta, (6) sensore intravaginale, (7) accelerometro, (8) contapassi arto posteriore, (9) indicatore livelli di progesterone.

co fetale e/o feto impegnato nel canale del parto) ed avvertire l'operatore con $Se=92.3\%$ e $Sp=98.6\%$. Al momento non sono state osservate reazioni avverse negli animali che hanno ricevuto il sistema di allarme.

Infine, è in sperimentazione in mandrie al pascolo in Australia un dispositivo telemetrico con sistema integrato ad una scheda madre e ad una batteria all'interno di un involucro da posizionare in sede intravaginale (Stephen et al., 2019). Una volta espulso per impegno del canale del parto il sistema emette dei segnali radio captati da ricevitori sparsi sul pascolo che ne triangolano la posizione. I primi risultati sperimentali hanno confermato la corretta individuazione delle partorienti (66% dei casi) e una corretta triangolazione del dispositivo (64% delle sonde), corrispondente all'area in cui si trovano la bovina con il proprio vitello, con approssimazione di 100-200 metri. Al momento si tratta di un dispositivo non ancora commercializzato.

Al momento i sistemi di allarme parto che offrono la maggior percentuale di individuazione corretta dell'inizio del travaglio sono costituiti da sensori intravaginali che sono espulsi nel momento in cui i sacchi fetali e/o il feto stesso impegnano il canale del parto. Il

vantaggio di questi sistemi sta nel fatto che presentano un basso numero di falsi negativi (ricezione di un falso allarme), fattore fondamentale per ottimizzare l'impegno lavorativo del personale aziendale e concentrare la presenza in sala parto al momento opportuno. Al contempo è importante valutare la tollerabilità locale del dispositivo che si intende utilizzare.

CONCLUSIONI

In conclusione, l'efficienza riproduttiva della mandria è uno dei parametri più importanti da tenere sotto controllo e che è alla base dell'incremento della profittabilità delle aziende zootecniche. Le tecnologie del Precision Livestock Farming rappresentano in tal senso una svolta epocale, in quanto pienamente rispondenti alle modifiche strutturali ed organizzative verificatesi negli ultimi anni, quali l'incremento del numero di capi per azienda e le difficoltà nella rilevazione dell'estro. Inoltre, non trascurabile è la riduzione dell'impiego di sostanze ormonali per la sincronizzazione dei calori. Al momento nessuna tecnologia è in grado di garantire il 100% di accuratezza, per cui è necessario

identificare quelle che presentano un corretto bilanciamento tra sensibilità e specificità o utilizzare più tecnologie contemporaneamente. È in ogni caso auspicabile nei prossimi anni un'implementazione di tali tecnologie, anche attraverso tecniche di intelligenza artificiale e fuzzy logic, al fine di incrementare la sostenibilità aziendale.

BIBLIOGRAFIA

- Benaissa S., Tuytens F.A.M., Plets D., Trogh J., Martens L., Vandaele L., Joseph W., Sonck B., 2020 - Calving and estrus detection in dairy cattle using a combination of indoor localization and accelerometer sensors. - *Computers and Electronics in Agriculture*. 168:105153.
- Borchers M.R., Chang Y.-M., Stone E., Wadsworth A., Bewley J.M., 2014 - Predicting impending calving using automatic activity and rumination measures in dairy cattle. - in 7th European Conference on Precision Livestock Farming. 406-414
- Bruinje T.C., Colazo M.G., Ribeiro E.S., Gobikrushanth M., Ambrose D.J., 2019 - Using in-line milk progesterone data to characterize parameters of luteal activity and their association with fertility in Holstein cows. - *J Dairy Sci*. 102: 780-798.
- Büchel S., Sundrum A., 2014 - Short communication: Decrease in rumination time as an indicator of the onset of calving. - *J Dairy Sci*. 97:3120-3127.
- Clark C.E.F., Lyons N.A., Millapan L., Talukder S., Cronin G.M., Kerrisk K.L., Garcia S.C., 2015 - Rumination and activity levels as predictors of calving for dairy cows. - *Animal*. 9: 691-695.
- Cooper-Prado M.J., Long N.M., Wright E.C., Goad C.L., Wettemann R.P., 2011 - Relationship of ruminal temperature with parturition and estrus of beef cows. - *J Anim Sci*. 89: 1020-1027.
- Costa J.B.G., Ahola J.K., Weller Z.D., Peel R.K., Whittier J.C., Barcellos J.O.J., 2016 - Reticulo-rumen temperature as a predictor of calving time in primiparous and parous Holstein females. - *J Dairy Sci*. 99: 4839-4850.
- Crociati M., Sylla L., Van Straten M., Stradaoli G., Monaci M., 2020 - Estimating the net return of a remote calving alarm system in a dairy farm. - *J. Dairy Sci*. 103:9646-9655.
- Fadul M., Christopher B., Maher A., Jürg H., Alexander S., Adrian S., Gaby H., 2017 - Prediction of calving time in dairy cattle. - *Anim. Reprod. Sci*. 187:37-46.
- Giaretta E., Marliani G., Postiglione G., Magazzù G., Pantò F., Mari G., Formigoni A., Accorsi P.A., Mordenti A., 2020 - Calving time identified by the automatic detection of tail movements and rumination time, and observation of cow behavioural changes. - *Animal*. 15(1):100071.
- Henningsen G., Marien H., Hasseler W., Feldmann M., Schoon H.A., Hoedemaker M., Herzog K., 2017 - Evaluation of the iVET® birth monitoring system in primiparous dairy heifers. - *Theriogenology*. 102:44-47.
- Higaki, S., Koyama K., Sasaki Y., Abe K., Honkawa K., Horii Y., Minamino T., Mikurino Y., Okada H., Miwakeichi F., Darhan H., Yoshioka K., 2020 - Technical note: Calving prediction in dairy cattle based on continuous measurements of ventral tail base skin temperature using supervised machine learning. - *J. Dairy Sci*. 103:8535-8540.
- Horváth A., Lénárt L., Pálffy M., Szenci O., 2021 - A field study using different technologies to detect calving at a scale hungarian dairy farm. - *Reproduction in Domestic Animals*. 13904.
- Kovács L., Kézér Fl., Ruff F., Szenci O., 2017 - Rumination time and reticuloruminal temperature as possible predictors of dystocia in dairy cows. - *J Dairy Sci*. 100(2):1568-1579.
- Krieger, S., Oczak M., Lidauer L., Berger A., Kicking F., Öhlschuster M., Auer W., Drillich M., Iwersen M., 2019 - An ear-attached accelerometer as an on-farm device to predict the onset of calving in dairy cows. - *Biosyst. Eng*. 184:190-199.

- Lovarelli D., Bacenetti J., Guarino M., 2020 - A review on dairy cattle farming: Is precision livestock farming the compromise for an environmental, economic and social sustainable production? - *J Clean Prod.* 262:121409.
- Marchesi G., Leonardi S., Tangorra F.M., Calcante A., Beretta E., Pofcher E., Lazzari M., 2013 - Evaluation of an electronic system for automatic calving detection on a dairy farm. - *Anim. Prod. Sci.* 53:1112.
- Mayo L.M., Silvia W.J., Ray D.L., Jones B.W., Stone A.E., Tsai I.C., Clark J.D., Bewley J.M., Heersche G., 2019 - Automated estrous detection using multiple commercial precision dairy monitoring technologies in synchronized dairy cows. - *J. Dairy Sci.* 102:2645-2656.
- Miller G.A., Mitchell M., Barker Z.E., Giebel K., Codling E.A., Amory J.R., Michie C., Davison C., Tachtatzis C., Andonovic I., Duthie C.A., 2020 - Using animal-mounted sensor technology and machine learning to predict time-to-calving in beef and dairy cows. - *Animal.* 14:1304-1312.
- Mottram T., 2016 - Precision livestock farming for dairy cows with a focus on oestrus detection. - *Animal.* 10:101575-1584.
- Neglia G., De Nicola D., Esposito L., D'occhio M.J., Fatone G., 2020 - Reproductive management in buffalo by artificial insemination. - *Theriogenology.* 150:166-172.
- O'Connor M.L., 1993 - Heat Detection and Timing of Insemination for Cattle. Penn State College of Agricultural Sciences. Extension Circular 402, 19 pp.
- Omontese B.O., Gomes G.C., Santos A.R., Silva L.G., Merenda V.R., Bisinotto R.S., 2020 - Use of on-farm milk progesterone information to predict fertility outcomes in dairy cows subjected to timed artificial insemination. - *J Dairy Sci.* 103(7):6600-6611.
- Ouellet V., Vasseur E., Heuwieser W., Burfeind O., Maldague X., Charbonneau, 2016 - Evaluation of calving indicators measured by automated monitoring devices to predict the onset of calving in Holstein dairy cows. - *J. Dairy Sci.* 99:1539-1548.
- Palombi C., Paolucci M., Stradaoli G., Corubolo M., Pascolo P.B., Monaci M., 2013 - Evaluation of remote monitoring of parturition in dairy cattle as a new tool for calving management. - *BMC Vet. Res.* 9:191.
- Perez Marquez H.J., Ambrose D.J., Schaefer A.L., Cook N.J., Bench C.J., 2019 - Infrared thermography and behavioral biometrics associated with estrus indicators and ovulation in estrus-synchronized dairy cows housed in tiestalls. - *J Dairy Sci.* 102(5):4427-4440.
- Peng Y., Kondo N., Fujiura T., Suzuki T., Ouma S., Wulandari, Yoshioka H., Itoyama E., 2020 - Dam behavior patterns in Japanese black beef cattle prior to calving: Automated detection using LSTM-RNN. - *Comput. Electron. Agric.* 169:105178.
- Proudfoot K.L., Huzzey J.M., M.a.g. Von Keyserlingk, 2009 - The effect of dystocia on the dry matter intake and behavior of Holstein cows. - *J. Dairy Sci.* 92:4937-4944.
- Pryce E., Woolaston R., Berry D.P., Wall E., Winters M., Butler R., Shaffer M., World Trends in Dairy Cow Fertility. Proceedings, 10th World Congress of Genetics Applied to Livestock Production 2014.
- Reith S., E S. Hoy, 2012 - Relationship between Daily Rumination Time and Estrus of Dairy Cows. - *Journal of Dairy Science.* 95:6416-20.
- Reith, S., E S. Hoy, 2018 - Review: Behavioral Signs of Estrus and the Potential of Fully Automated Systems for Detection of Estrus in Dairy Cattle. - *Animal.* 12(2) :398-407.
- Ricci A., Racioppi V., Iotti B., Bertero A., Reed K.F., Pascottini O.B., Vincenti L., 2018 - Assessment of the temperature cut-off point by a commercial intravaginal device to predict parturition in Piedmontese beef cows. - *Theriogenology.* 113:27-33.
- Roelofs J.B., Van Eerdenburg F.J.C.M., Soede N.M., Kemp B., 2005 - Various behavioral

- signs of estrous and their relationship with time of ovulation in dairy cattle. - *Theriogenology*. 63:1366-1377
- Roelofs J.B., F.J.C.M. Van Eerdenburg, Hazeleger W., Soede N.M., Kemp B., 2006 - Relationship between progesterone concentrations in milk and blood and time of ovulation in dairy cattle. - *Animal Reproduction Science*. 91:337-343.
- Rossi E., Ferri N., Crociati M., Monaci M., Stradaoli G., Sylla L., 2020 - Remote monitoring system as a tool for calving management in Mediterranean Buffalo heifers (*Bubalus bubalis*). - *Reprod. Domest. Anim.* 13805.
- Röttgen V., Schön P., Becker F., Tuchscherer A., Wrenzycki C., Düpjan S., Puppe B., 2020 - Automatic recording of individual oestrus vocalisation in group-housed dairy cattle: Development of a cattle call monitor. - *Animal*. 14:198-205.
- Rutten C.J., Kamphuis C., Hogeveen H., Huijps K., Nielen M., Steeneveld W., 2017 - Sensor data on cow activity, rumination, and ear temperature improve prediction of the start of calving in dairy cows. - *Comput. Electron. Agric.* 132:108-118.
- Sakatani M., Sugano T., Higo A., Naotsuka K., Hojo T., Gessei S., Uehara H., Takenouchi N., 2018 - Vaginal temperature measurement by a wireless sensor for predicting the onset of calving in Japanese Black cows. - *Theriogenology*. 111:19-24.
- Schirmann K., Chapinal N., D.M. Weary N., Vickers L., M.a.g. Von Keyserlingk, 2013 - Short communication: Rumination and feeding behavior before and after calving in dairy cows. - *J. Dairy Sci.* 96:7088-7092.
- Schuenemann G.M., Nieto I., Bas S., Galvão K.N., Workman J., 2011 - Assessment of calving progress and reference times for obstetric intervention during dystocia in Holstein dairy cows. - *J Dairy Sci.* 94(11):5494-501.
- Senger, P.L., 2005 - *Pathways to Pregnancy and Parturition*. 2nd Rev. ed. Pullman, WA: Current Conceptions.
- Stephen C., Menzies D., Swain D., Patison K., Corbet N., Norman S., 2019 - Telemetric monitoring of calving using a novel calf alert device. Pages 449 (Clinical Theriogenology, Vol 11, No 3) in Abstract from 2019 Society for Theriogenology and American College of Theriogenologists Annual Conference, Savannah, United States.
- Stevenson J.S., 2016 - Synchronization and Artificial Insemination Strategies in Dairy Herds. - *Vet Clin North Am Food Anim Pract.* 32:349-64.
- Sturman H., Oltenacu E.A.B., Foote R.H., 2000 - Importance of inseminating only cows in estrus. - *Theriogenology*. 53:1657-1667.
- Titler M., Maquivar M.G., Bas S., Rajala-Schultz P.J., Gordon E., McCullough K., Federico P., Schuenemann G.M., 2015 - Prediction of parturition in Holstein dairy cattle using electronic data loggers. - *J. Dairy Sci.* 98:5304-5312.
- Vicentini R.R., Montanhali Y.R., Veroneze R., Oliveira A.P., Lima M.L.P., Ujita A., Elfaro L., 2020 - Infrared thermography reveals surface body temperature changes during proestrus and estrus reproductive phases in Gyr heifers (*Bos taurus indicus*). - *J Therm Biol.* 92:102662.
- Voß, A.L., Fischer-Tenhagen C., Bartel A., Heuwieser W., 2020 - Sensitivity and specificity of a tail-activity measuring device for calving prediction in dairy cattle. - *J. Dairy Sci.* 104(3):3353-3363.
- Williams J., Ntallaris T., Routly J.E., Jones D.N., Cameron J., Holman-Coates A., Smith R.F., Humblot P., Dobson H., 2018 - Association of production diseases with motor activity-sensing devices and milk progesterone concentrations in dairy cows. - *Theriogenology*. 118:57-62.
- Wiltbank M., Lopez H., Sartori R., Sangsritavong S., Gümen A., 2006 - Changes in reproductive physiology of lactating dairy cows due to elevated steroid metabolism. - *Theriogenology*. 65:17-29.
- Zehner N., Niederhauser J.J., Schick M., Umstatter C., 2019 - Development and validation of a predictive model for calving time based on sensor measurements of ingestive behavior in dairy cows. - *Comput. Electron. Agric.* 161:62-71.

SISTEMI AUTOMATICI DI MUNGITURA ED ACCELEROMETRI: ANALISI DEI DATI DA ESSI PRODOTTI E LORO UTILIZZO

CORRADO DIMAURO¹, VINCENZO LOPREIATO²

¹ *Dipartimento di Agraria, Università degli studi di Sassari – dimauro@uniss.it*

² *Dipartimento di Scienze animali, della nutrizione e degli alimenti,
Università Cattolica del Sacro Cuore di Piacenza, Italy – vincenzo.lopreiato@unicatt.it*

ABSTRACT

I vari dispositivi elettronici che vengono ordinariamente usati nel monitoraggio continuo di una mandria producono una grande mole di dati che sono sfruttati solo parzialmente. In questo lavoro mettiamo in evidenza come tali dati, se opportunamente analizzati, possano fornire informazioni non di routine. Nella prima parte del lavoro ci occupiamo dell'analisi dei dati prodotti dai lattometri per prevedere, entro i primi 90-120 giorni dal parto, se una determinata lattazione avrà una alta persistenza o no. In caso positivo, la vacca sarà inseminata avanti nel tempo e ciò produrrà una estensione della lattazione che andrà oltre i classici 305 giorni con una produzione, però, ancora elevata e conveniente in termini economici. A tale scopo, i dati di produzione giornaliera di latte raccolti con i lattometri sono stati analizzati con il metodo dell'analisi discriminante, una procedura statistica multivariata in grado di assegnare le lattazioni a una tra le due categorie di lattazione, alta e bassa persistenza. I risultati hanno dato un errore medio di assegnazione del 6% nel caso di vacche primipare e del 9% per le pluripare. La stessa tecnica di analisi statistica è stata poi utilizzata per analizzare i dati provenienti da accelerometri montati su pecore al pascolo. In questo caso lo scopo è stato rilevare i tempi di pascolamento, riposo e ruminazione degli animali oltre che stimare l'ingestione degli animali mediante il conteggio del numero di prensioni. Il dispositivo utilizzato è stato in grado di evidenziare con un errore trascurabile (intorno a 8%) i tempi relativi ai tre comportamenti monitorati e a prevedere con ottima accuratezza ed una precisione dell'87% il numero di prensioni. È stato messo infine in evidenza come i dati provenienti dagli accelerometri montati su vitelli, se opportunamente analizzati, siano in grado di evidenziare stati di malessere di giovani animali.

Parole chiave

Accelerometri; lattometri; sensori; analisi dati.

LATTAZIONI LUNGHE E LORO PREVISIONE PRECOCE

Molte aziende zootecniche che allevano vacche da latte fanno uso di sistemi automatici di mungitura equipaggiati con lattometri in grado di rilevare la produzione di ogni singola vacca. Questi strumenti producono giornalmente una grande mole di dati che

vengono generalmente usati nei controlli di routine sullo stato di salute e sulla redditività della singola vacca. Questi dati, comunque, se opportunamente elaborati, possono fornire ulteriori informazioni utili nella conduzione dell'azienda zootecnica.

In un lavoro scientifico pubblicato di recente, Manca et al. (2020), è stato messo a punto un metodo che permette, utilizzando

tali dati, di prevedere precocemente se una lattazione sarà altamente persistente e quindi idonea a diventare una lattazione lunga oppure no. Attualmente il numero di lattazioni che in Italia superano i classici 305 giorni sono circa il 42% (Steri et al., 2009, ANAFI, 2020) mentre negli USA sono più del 55% (VanRaden et al., 2006). Questo accade quando la vacca, per vari motivi, non rimane incinta al primo servizio. Nelle bovine altamente produttive si registrano spesso, infatti, tassi di fertilità molto bassi con, di frequente, problemi di tipo sanitario come mastiti. Nel normale ciclo produttivo-riproduttivo di una azienda zootecnica, una vacca è generalmente inseminata dopo 60-90 giorni dal parto e asciugata dopo 305 giorni. In questo modo l'animale ha un periodo minimo di 60 giorni per ripristinare la ghiandola mammaria e prepararla per la lattazione successiva. In questo schema, però, si registrano a volte situazioni alquanto paradossali. Accade spesso che alla fine dei 305 giorni di lattazione alcune vacche debbano essere asciugate quando hanno ancora un'alta produzione mentre altre proseguono la lattazione (perché non erano rimaste incinte nei primi 60-90 giorni) ma hanno produzioni troppo basse per essere sostenibili economicamente. In vacche Frisone altamente produttive, sia primipare che multipare, Mellado et al. (2016) hanno registrato produzioni medie di circa 34 litri al giorno nei primi 305 giorni e di circa 30 litri nei successivi 250 giorni. Tra queste ultime, però, la deviazione standard legata dalla media produttiva è di più di 10 kg, per cui ci sono vacche che hanno una lattazione lunga poco produttiva.

Una lattazione estesa può essere ottenuta allungando volontariamente il periodo di attesa tra il parto e la prima inseminazione. Questo, come dimostrano molti lavori scientifici, può portare numerosi benefici nella vita di una vacca e quindi nella conduzione dell'azienda. Basti solo pensare che l'animale avrà più tempo per riprendere il normale ciclo riproduttivo con conseguente riduzione di trattamenti ormonali per il controllo dell'anestro (Butler et al., 2010). Per non parlare poi del risparmio nell'acquisto di se-

me perché, come riportato da Inchaisri et al. (2010), la probabilità di successi nell'inseminazione aumenta con l'allungamento del periodo che intercorre tra parto e il primo servizio.

Questo lasso di tempo può essere, volendo, prolungato volontariamente ottenendo così una estensione della lattazione. In questo caso, però, gli animali con lattazione estesa dovrebbero avere una produzione di latte elevata dopo i classici 305 giorni per essere economicamente sostenibili. Sapere allora se una lattazione avrà un'alta persistenza già nei primi 90-150 dopo il parto potrebbe essere utile per scegliere tra gli animali della mandria quelli da destinare, eventualmente, a una lattazione lunga.

Il metodo sviluppato da Manca et al. (2020) per la previsione precoce di lattazioni altamente persistenti, combina la capacità dei modelli matematici di curva di lattazione (Wood, 1967; Ali and Schaeffer, 1987, ed altri) nel descrivere la forma della lattazione e rilevarne i principali parametri (picco e persistenza) con l'abilità della analisi statistica multivariata nel rilevare differenze tra gruppi (in questo caso lattazioni con bassa ed alta persistenza). Il metodo può essere facilmente implementato nel sistema computerizzato che governa la stalla.

È innanzi tutto necessario disporre di un data base con un numero elevato di lattazioni pregresse su cui mettere a punto il metodo, essendo le tecniche statistiche di analisi multivariata molto sensibili alla numerosità del campione. A questo proposito, come hanno fatto gli autori del lavoro citato, è consigliabile che aziende "simili" sia per conduzione che per razza di animali allevati, condividano i loro dati in modo da aumentare la variabilità biologica e il numero di lattazioni disponibili.

Il metodo inizia scegliendo un modello di curva di lattazione da adattare ai dati. Dagli studi effettuati emerge che il modello più appropriato a questa tipologia di dati è il polinomio di quarto grado:

$$Y_t = a + bt + ct^2 + dt^3 + et^4$$

dove Y_t è il latte prodotto al giorno t , t sono i giorni di lattazione, a, b, c, d , ed e sono parametri da determinare. Tale modello è stato quindi adattato ai dati delle singole lattazioni, mediante una regressione non lineare, e, per ognuna di esse, è stata stimata la produzione a 305 giorni dal parto. Questo valore è stato preso come un indicatore di persistenza, in quanto, come si può vedere dai valori delle correlazioni riportati in tabella 1, vacche con una certa produzione (alta o bassa) a 305 giorni continueranno ad avere la stessa tipologia di produzione anche successivamente.

Tabella 1 – Correlazione tra la produzione di latte a 305 giorni dal parto e quella a 400, 500 e 600 giorni dal parto

305 giorni	Primipare		
	400 giorni	500 giorni	600 giorni
	97%	91%	85%
305 giorni	Pluripare		
	400 giorni	500 giorni	600 giorni
	98%	94%	90%

Sulla base dei valori di produzione di latte a 305 giorni dal parto, le lattazioni sono state suddivise in due classi: bassa classe (BC) con produzione di latte a 305 giorni minore di 20 kg e alta classe (AC) con produzione maggiore di 32 kg, sempre a 305 giorni dal parto. Per ognuna di queste lattazioni sono stati considerati tre dataset contenenti le produzioni giornaliera fino ai primi 90, 120 e 150 giorni dopo il parto. A questi dati è stato riadattato il polinomio di quarto grado e i parametri (a, b, c, d, e) stimati sono stati organizzati in un dataset in senso multivariato: le righe rappresentano le diverse lattazioni, le colonne i parametri di regressione. Tutti i files hanno inoltre una colonna che contiene la classe a cui appartengono le singole lattazioni. Ad ognuno dei tre data set è stata poi applicata la tecnica di analisi statistica multivariata conosciuta con il nome di analisi discriminante. Questa procedura consente di stabilire, mediante un test statistico, se, usando un particolare set di variabili, due

o più gruppi di soggetti appartengono a popolazioni differenti o no. Nel caso in esame, gli oggetti sono le lattazioni appartenenti alle due classi di produzione (BC e AC) mentre le variabili sono i parametri di regressione. L'analisi discriminante è anche in grado di assegnare a uno o all'altro gruppo nuove lattazioni di cui si conoscono le produzioni giornaliera di latte. Nel caso in cui questo algoritmo sia applicato a livello aziendale, è fondamentale che lattazioni BC non siano assegnate, erroneamente alla classe altamente produttiva (AC). In questo caso, infatti, avendo inseminato la vacca dopo i classici 60-90 giorni, si avrà una lattazione lunga con una produzione bassa. Questa eventualità è sicuramente da evitare. A questo proposito, in tabella 2 sono riportate le percentuali di assegnazione non corrette di lattazioni BC che risultano, in media, del 7,5%. Come è naturale che sia, la capacità dell'algoritmo di limitare gli errori di assegnazione aumenta all'aumentare del numero di giorni di lattazione su cui è effettuato il calcolo.

Tabella 2 – Percentuale di lattazioni appartenenti alla classe di produzione bassa (BC) assegnate in modo non corretto alla classe alta (AC), sia per vacche primipare che pluripare utilizzando solo i dati dei primi 90, 120 e 150 giorni di lattazione

Primipare	4° Pol
90 giorni	7%
120 giorni	6%
150 giorni	5%
Pluripare	
90 giorni	12%
120 giorni	8%
150 giorni	7%

Le equazioni generate in questa fase di training possono essere usate per assegnare le nuove lattazioni, di cui si conoscono via via i dati di produzione giornaliera. In pratica, alla nuova lattazione è adattato il polinomio di quarto grado e i parametri stimati sono usati come dati. L'analisi discriminante assegnerà la nuova lattazione a uno dei due gruppi.

Tutta la procedura può essere facilmente automatizzata implementando nel sistema che controlla i sensori di stalla un software in grado di analizzare i dati mediante l'uso dell'analisi discriminante.

USO DI ACCELEROMETRI 3D PER LA RILEVAZIONE DEL COMPORTAMENTO DEGLI ANIMALI AL PASCOLO

Gli accelerometri sono componenti di apparati elettronici anche di uso quotidiano. Grazie ad essi, ad esempio, il telefono cellulare è in grado di capire che lo stiamo ruotando e di conseguenza può eseguire tutte le operazioni necessarie per ridisegnare il contenuto dello schermo con l'angolazione corretta. Il principio di funzionamento di tali strumenti è molto semplice. Immaginiamo una massa sospesa con alcune molle disposte nelle tre direzioni x, y e z o, come avviene negli accelerometri, una massa che poggia su cristalli piezoelettrici. In presenza di un movimento (accelerazione), la massa comprime la molla (o il cristallo) in una certa direzione e la forza misurata divisa per la massa fornisce l'accelerazione da essa subita e la direzione del movimento.

C'è un crescente interesse verso l'utilizzo della tecnologia di monitoraggio remoto mediante sensori che montano accelerometri 3D. In particolare, possono risultare molto utili per monitorare il comportamento degli animali al pascolo. Questi strumenti consentono infatti di evitare lunghe e tediose osservazioni in campo, o a schermo, fornendo l'informazione praticamente in tempo reale. A seconda, però, dell'attività che si vuole monitorare, i segnali prodotti dall'accelerometro devono essere opportunamente elaborati ed interpretati. Per gli animali al pascolo le principali attività che vengono registrate sono i tempi di pascolamento, di ruminazione e di riposo. Giovanetti et al. (2017) hanno testato un sensore montato su museruola (figura 1) che utilizza un accelerometro per la rilevazione del comportamento di pecore al pascolo.

In particolare, i ricercatori si sono concentrati sulla messa a punto di un metodo statistico in grado di interpretare correttamente i segnali provenienti dall'accelerometro. Per questo motivo, nella fase di training, oltre al dato grezzo trasmesso dall'accelerometro, sono state eseguite riprese video degli animali monitorati facendo attenzione alla perfetta sincronizzazione degli orologi dei vari apparati coinvolti. L'osservazione accurata delle videoregistrazioni ha consentito di annotare i vari comportamenti dell'animale e, scelto l'intervallo di tempo di osservazione ottimale, ad ognuno di essi è stata attribuita una attività prevalente.

I dati grezzi prodotti dall'accelerometro consistono di misure di accelerazione nella direzione dei tre assi cartesiani e sono poi stati pre-elaborati secondo le indicazioni di Watanabe et al. (2008) ottenendo le seguenti variabili: Media (MX, MY, MZ), Varianza (VX, VY, VZ), inverso del coefficiente di variazione (media/deviazione standard, ICVX, ICVY, ICVZ), la media, la varianza e ICV



Figura 1 – Accelerometro montato su museruola.

Tabella 3 – Numero di minuti assegnati correttamente e non dall’analisi discriminante ai tre comportamenti in pecore al pascolo

Comportamento osservato	Comportamento previsto		
	<i>Pascolamento</i>	<i>Ruminazione</i>	<i>Riposo</i>
Pascolamento	234 (94%)	8	6
Ruminazione	1	133 (89%)	15
Riposo	9	9	261 (93%)

nei tre assi (MRES, VRES e ICVRES). I dati così pre-elaborati sono stati disposti in una forma multivariata con in colonna le 12 variabili e in riga gli intervalli di tempo. Una ulteriore colonna contiene il comportamento degli animali rilevati mediante le osservazioni. È stata quindi applicata la tecnica dell’analisi discriminante per assegnare gli intervalli di tempo a una delle tre attività considerate. I risultati sono riassunti nella tabella 3 da cui è evidente che il metodo è in grado di rilevare con ottima approssimazione i tre comportamenti. Se consideriamo, ad esempio, il periodo di pascolamento, su 248 minuti assegnati a tale attività, 234 sono stati rilevati correttamente mentre i restanti quattordici sono stati assegnati, erroneamente, alla ruminazione e al pascolo.

Lo stesso accelerometro è stato poi usato, in condizioni sperimentali, per stimare la quantità di erba ingerita da pecore al pascolo (Giovanetti et al., 2020). Seguendo le indicazioni fornite da Hodgson (1982), se si conosce il numero di prensioni e si ha una stima della quantità di sostanza assunta dall’animale ad ogni prensione, è possibile risalire all’ingestione dell’animale al pascolo usando la seguente formula:

$$\text{Ingestione} = (\text{prensioni/unità di tempo}) \times (\text{ingestione/prensione}) \times (\text{tempo di pascolamento})$$

Per questo scopo, 10 pecore di razza Sarda, a cui è stato applicato l’accelerometro, sono state fatte pascolare in diversi vassoi inerbiti contenenti, rispettivamente, loietto, erba medica, avena, cicoria e una miscela di loietto ed erba medica. Ogni pecora aveva accesso al vassoio inerbito per un tempo

massimo di sei minuti. Tutta la fase di pascolamento è stata video ripresa sincronizzando gli orologi della telecamera e dell’accelerometro. Dai dati dell’accelerometro, dopo la pre-elaborazione, sono state ottenute le 12 variabili suggerite da Watanabe et al. (2008) più altre 3 (SX, SY, SZ) che rappresentano la somma delle accelerazioni nelle tre direzioni. Dalle osservazioni video e dalle pesate dei vassoi inerbiti, prima e dopo l’esperimento, sono state ricavate le seguenti variabili comportamentali: logaritmo del numero di prensioni e relativo tasso (LP e LPR); erba ingerita come sostanza fresca (SF) e sostanza secca (SS) e relativi tassi (SFR e SSR), massa ingerita per ogni prensione (SFP e SSP). Il set di dati finali contiene in tutto 23 variabili, le 15 rilevate dall’accelerometro e le 8 comportamentali ottenute dalle osservazioni. Dopo aver disposto i dati in forma multivariata (in riga gli intervalli di tempo, in colonna le 23 variabili) è stata applicata una tecnica di analisi statistica multivariata nota come Partial Least Square Regression (PLSR). Questa procedura consente di effettuare una regressione multipla multivariata in cui le variabili comportamentali ($y_1, \dots, y_8$) sono previste in funzione di quelle ottenute dall’accelerometro ($x_1, \dots, x_{15}$).

I dati previsti dalla PLSR sono stati confrontati con quelli reali mediante una regressione che pone in ordinata i dati osservati e in ascissa quelli previsti dal modello. Tali previsioni saranno tanto più accurate e precise quanto più l’intercetta e la pendenza sono uguali a 0 e ad 1, rispettivamente, e quanto più è alto il valore di R^2 . I risultati sono riassunti nella figura 2 dove risulta evidente che la PLSR ha mostrato un buon grado di accuratezza delle previsioni (intercetta 0 e pen-

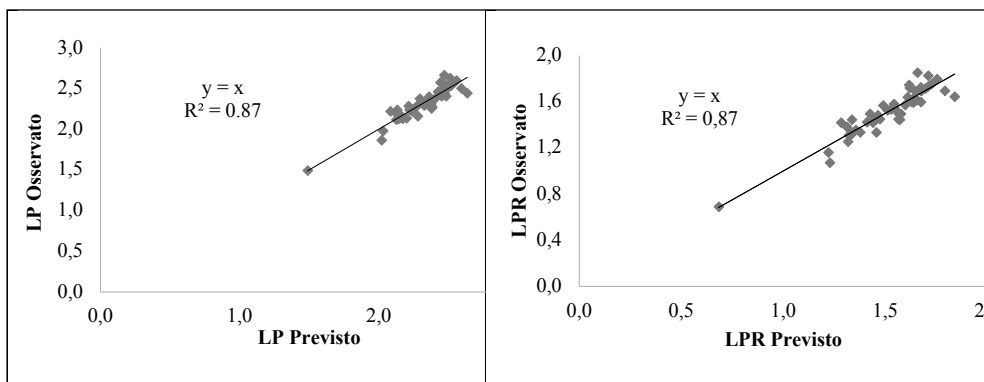


Figura 2 – Grafici del logaritmo del numero di prensioni (LP) e relativo tasso (LPR) previsti dalla PLSR (asse delle ascisse) contro quelli osservati (asse delle ordinate).

denza 1) e una precisione (R^2) superiore, in media, all'80% nella rilevazione del numero di prensioni e loro tasso. Questo esperimento suggerisce che gli accelerometri potrebbero essere utilizzati, con un accettabile grado di fiducia, per stimare l'ingestione di erba di animali al pascolo.

USO DI ACCELEROMETRI PER LA RILEVAZIONE DEL TEMPO DI RUMINAZIONE NELLA VACCA DA LATTE E NEL VITELLO

Nel contesto della bovina da latte, numerose ricerche hanno evidenziato come i diversi tempi di ruminazione rappresentino uno specchio del metabolismo e della funzionalità ruminale. Questi due comportamenti, che, come visto in precedenza, possono essere rilevati mediante l'uso di accelerometri, sono spesso associati ad un parametro determinato fisiologico, ad una patologia, oppure ad un particolare comportamento dell'animale monitorato in condizioni normali o quando lo stesso è disturbato da un evento stressante.

In particolare, i dati ottenuti dal monitoraggio della ruminazione in continuo hanno portato alla luce l'importanza del livello di ruminazione nel definire le condizioni dello stato immunitario e metabolico della bovina da latte particolarmente dopo il parto. Di-

versi lavori scientifici (Soriani et al., 2012; Calamari et al., 2014) hanno stabilito che la misurazione del tempo di ruminazione nel periodo che precede e che segue il parto può essere un utile strumento per l'individuazione sia di animali ammalati che di quelli con una probabilità maggiore di sviluppare disturbi di salute (casi subclinici). Le bovine che nella prima settimana dopo il parto presentano un tempo di ruminazione superiore alla mediana dell'intera mandria sono infatti caratterizzate da un migliore stato energetico, minor grado infiammatorio (fisiologico dopo il parto) con sua risoluzione in tempi decisamente minori, e anche una migliore funzionalità epatica. È importante precisare che non esiste, al momento attuale, un valore soglia assoluto a cui fare riferimento per individuare i soggetti a rischio nel corso del periparto, nelle diverse situazioni alimentari ed ambientali. Questo perché i livelli di ruminazione possono cambiare da un allevamento all'altro pur restando entro un range accettabile. Pertanto, può apparire più importante stabilire il valore di mediana entro allevamento e dividere gli animali con valori superiori o inferiori a tale livello. A questo fondamentale aspetto si aggiunge anche una relazione (da modesta a forte) tra tempi di ruminazione e produzione di latte durante il primo periodo di lattazione, dove la bovina è caratterizzata da un forte bilancio energetico negativo (Kaufman et al., 2016).

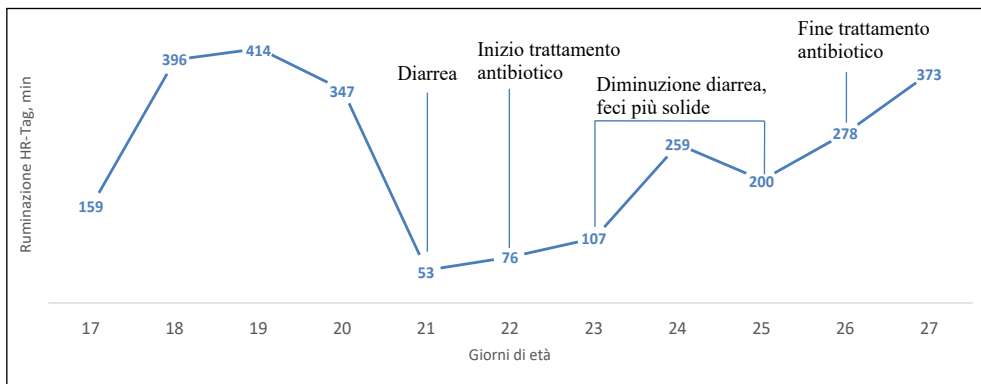


Figura 3 – Minuti di ruminazione giornaliera di un vitello che ha avuto la diarrea e relativo trattamento.

La rilevazione dei tempi di ruminazione mediante l'uso di accelerometri ha trovato facile applicazione nella gestione dei vitelli, ambito questo che è sempre stato abbastanza trascurato nel management globale dell'azienda a causa della sua "improduttività" intrinseca. Questa visione è però cambiata da quando si è scoperto che far crescere le vitelle in modo ottimale significa avere più latte non solo nella loro prima lattazione ma anche nelle successive. Per questo scopo sono spesso usati sensori auricolari, i cui componenti principali sono accelerometri, che vengono applicati all'animale alla nascita e che da subito iniziano a registrare i movimenti dell'animale.

In un recente studio, sono stati investigati i cambiamenti giornalieri della ruminazione misurati con un sistema automatico di monitoraggio della ruminazione in vitelli nella fase di pre-svezzamento alimentati con latte intero della mandria e concentrato ad libitum (Lopreiato et al., 2018). Questa ricerca ha concluso che l'applicazione di tali sensori elettronici in vitellaia aiuta l'allevatore ad individuare anomalie in avvio delle usuali attività di ruminazione basandosi sia sulla variabilità intra-giornaliera che su quella inter-giornaliera. Le anomalie di tale comportamento possono essere giustificate sia dall'insorgenza di patologie (es. diarree, febbre), che da un inadeguato adattamento del soggetto entro il gruppo, oppure dalla somministrazione di diete non corrette per quali-

tà, quantità e metodo di distribuzione. In figura 3 è riportato l'andamento dei tempi di ruminazione di un vitello che ha consentito di individuare precocemente l'insorgenza della diarrea. Dal grafico risulta chiaramente che dopo l'intervento sanitario i tempi di ruminazione aumentano fino a riprendere l'andamento normale alla fine del trattamento.

La conoscenza del tempo di ruminazione, specie nei giovani ruminanti, può essere utile anche come indicatore dello sviluppo delle normali funzioni e fermentazioni ruminali. In un recente lavoro di Lopreiato et al. (2020) è stata data risposta ad una semplice domanda: esiste una relazione tra i minuti di ruminazione, la quantità di AGV prodotti ed il pH a livello ruminale nei vitelli? Sorprendentemente, è stato osservato che esiste una relazione strettissima tra questi fattori, ed è stato anche mostrato che la relazione è massima quando il tempo di ruminazione è stato riferito al pH ruminale.

Questi risultati mostrano in modo inequivocabile la capacità predittiva dei sensori che misurano l'attività ruminativa delle caratteristiche delle fermentazioni ruminali dopo lo svezzamento. Tale indice fenotipico fornisce una veloce informazione sulla "salute" del rumine e identifica in modo relativamente tempestivo vitelli che possono trovarsi in una condizione di rischio (forte diminuzione del pH, ad esempio) durante questa fase critica in cui i vitelli passano ad una dieta esclusivamente solida.

BIBLIOGRAFIA

- Ali T.E., Schaeffer L.R., 1987 - Accounting for covariances among test day milk yields in dairy cows. *Can. J. Anim. Sci.* 67: 637-644.
- ANAFI (Association of Italian Holstein Friesian Breeders) <http://www.anafi.it/it/pubblicazioni-statistiche/dati-aia-primi-allevamenti-frisona-italiani> (accessed 13rd March 2020).
- Butler T., Shalloo L., Murphy J.J., 2010 - Extended lactations in a seasonal-calving pastoral system of production to modulate the effects of reproductive failure. *J. Dairy Sci.* 93: 1283-1295.
- Calamari L., Soriani n., Panella g., Petrera f., Minuti a., Trevisi e., 2014 - Rumination time around calving: An early signal to detect cows at greater risk of disease. *J. Dairy Sci.* 97: 3635-3647.
- Giovanetti V., Decandia M., Molle G., Acciaro M., Mameli M., Cabiddu A., Cossu R., Serra M.G., Manca C., Rassu S.P.G., Dimauro C., 2017 - Automatic classification system for grazing, ruminating and resting behaviour of dairy sheep using a tri-axial accelerometer. *Livest. Sci.* 196: 42-48
- Giovanetti V., Cossu R., Molle G., Acciaro M., Mameli M., Cabiddu A., Serra M.G., Manca C., Rassu S.P.G., Decandia M., Dimauro C., 2020 - Prediction of bite number and herbage intake by an accelerometer-based system in dairy sheep exposed to different forages during short-term grazing tests. *Comput. Electron. Agr.* 175: 1-7
- Hodgson J., 1982 - Influence of sward characteristics on diet selection and herbage by the grazing animal. In: Hacker J.B., Nutritional limits to animal production from pastures. CAB, Slough, UK: 153-166.
- Kaufman E.I., LeBlanc S.J., McBride B.W., Duffield T.F., DeVries T.J., 2016 - Association of rumination time with subclinical ketosis in transition dairy cows. *J. Dairy Sci.* 99: 5604-5618.
- Inchaisri C., Jorritsma R., Vos P.L.A.M., Van der Weijden G.C., Hogeveen H., 2010 - Economic consequences of reproductive performance in dairy cattle. *Theriogenology* 74: 835-846.
- Lopreiato V., Minuti a., Cappelli f.p., Vailati-Riboni m., Britti d., Trevisi e., Morittu V.M., 2018 - Daily rumination pattern recorded by an automatic rumination-monitoring system in pre-weaned calves fed whole bulk milk and ad libitum calf starter. *Livest. Sci.* 212: 127-130.
- Lopreiato V., Vailati-Riboni M., Morittu V.M., Britti D., Piccioli-Cappelli F., Trevisi E., Minuti A., 2020 - Post-weaning rumen fermentation of Simmental calves in response to weaning age and relationship with rumination time measured by the Hr-Tag rumination-monitoring system. *Livest. Sci.* 232: 1-8
- Manca E., Cesarani A., Macciotta N.P.P., Atzori A.S., Pulina G., Dimauro C., 2020 - Use of discriminant statistical procedures for an early detection of persistent lactations in dairy cows. *Comput. Electron. Agr.* 176: 1-6.
- Mellado T.L., Flores J.M., de Santiago A., Veliz F.G., Macías-Cruz U., Avendaño-Reyes L., García J.E., 2016 - Extended lactation in high-yielding Holstein cows: characterization of milk yield and risk factors for lactations>450 days. *Livest. Sci.* 159: 50-55.
- Soriani N., Trevisi e., Calamari l., 2012 - Relationships between rumination time, metabolic conditions, and health status in dairy cows during the transition period. *J. Anim. Sci.* 90:4544-4554.
- Steri R., Cappio-Borlino A., Macciotta N.P.P., 2009 - Modelling extended lactation curves for milk production traits in Italian Holsteins. *Ital. J. Anim. Sci.*, 8: 165-167
- VanRaden P.M., Dematawewa C.M.B., Pearson R.E., Tooker M.E., 2006 - Productive life including all lactations and longer lactations with diminishing credits. *J. Dairy Sci.* 89: 3213-3220.
- Watanabe N., Sakanoue S., Kawamura K., Kozakai T., 2008 - Development of an automatic classification system for eating, ruminating and resting behaviour of cattle using an accelerometer. *Grassl. Sci.* 54: 231-237.
- Wood P.D.P., 1967. Algebraic model of the lactation curve in cattle. *Nature* 216: 164-165.

NELLA STESSA COLLANA SONO STATI PUBBLICATI I SEGUENTI VOLUMI:

- | | | | |
|-----------|---|-----------|---|
| 1 - 1979 | Infezioni respiratorie del bovino | 20 - 1988 | Trentennale della Fondazione Iniziative Zooprofilattiche e Zootecniche di Brescia, 1956-1986 |
| 2 - 1980 | L'oggi e il domani della sulfamidoterapia veterinaria | 21 - 1989 | Le infezioni erpetiche del bovino e del suino |
| 3 - 1980 | Ormoni della riproduzione e Medicina Veterinaria | 22 - 1989 | Nuove frontiere della diagnostica nelle scienze veterinarie |
| 4 - 1980 | Gli antibiotici nella pratica veterinaria | 23 - 1989 | La rabbia silvestre: risultati e prospettive della vaccinazione orale in Europa |
| 5 - 1981 | La leucosi bovina enzootica | 24 - 1989 | Chick Anemia ed infezioni enteriche virali nei volatili |
| 6 - 1981 | La «Scuola per la Ricerca Scientifica» di Brescia | 25 - 1990 | Mappaggio del genoma bovino |
| 7 - 1982 | Gli indicatori di Sanità Veterinaria nel Servizio Sanitario Nazionale | 26 - 1990 | Riproduzione nella specie suina |
| 8 - 1982 | Le elmintiasi nell'allevamento intensivo del bovino | 27 - 1990 | La nube di Chernobyl sul territorio bresciano |
| 9 - 1983 | Zoonosi ed animali da compagnia | 28 - 1991 | Le immunodeficienze da retrovirus e le encefalopatie spongiformi |
| 10 - 1983 | Le infezioni da Escherichia coli degli animali | 29 - 1991 | La sindrome chetotica nel bovino |
| 11 - 1983 | Immunogenetica animale e immunopatologia veterinaria | 30 - 1991 | Atti del convegno annuale del gruppo di lavoro delle regioni alpine per la profilassi delle mastiti |
| 12 - 1984 | 5° Congresso Nazionale Associazione Scientifica di Produzione Animale | 31 - 1991 | Allevamento delle piccole specie |
| 13 - 1984 | Il controllo delle affezioni respiratorie del cavallo | 32 - 1992 | Gestione e protezione del patrimonio faunistico |
| 14 - 1984 | 1° Simposio Internazionale di Medicina veterinaria sul cavallo da competizione | 33 - 1992 | Allevamento e malattie del visone |
| 15 - 1985 | La malattia di Aujeszky. Attualità e prospettive di profilassi nell'allevamento suino | 34 - 1993 | Atti del XIX Meeting annuale della S.I.P.A.S., e del Convegno su Malattie dismetaboliche del suino |
| 16 - 1986 | Immunologia comparata della malattia neoplastica | 35 - 1993 | Stato dell'arte delle ricerche italiane nel settore delle biotecnologie applicate alle scienze veterinarie e zootecniche - Atti 1ª conferenza nazionale |
| 17 - 1986 | 6° Congresso Nazionale Associazione Scientifica di Produzione Animale | 36 - 1993 | Argomenti di patologia veterinaria |
| 18 - 1987 | Embryo transfer oggi: problemi biologici e tecnici aperti e prospettive | 37 - 1994 | Stato dell'arte delle ricerche italiane sul settore delle biotecnologie applicate alle scienze veterinarie e zootecniche |
| 19 - 1987 | Coniglicoltura: tecniche di gestione, ecopatologia e marketing | | |

- 38 - 1995 Atti del XIX corso in patologia suina e tecnica dell'allevamento
- 39 - 1995 Quale bioetica in campo animale? Le frontiere dell'ingegneria genetica
- 40 - 1996 Principi e metodi di tossicologia in vitro
- 41 - 1996 Diagnostica istologica dei tumori degli animali
- 42 - 1998 Umanesimo ed animalismo
- 43 - 1998 Atti del Convegno scientifico sulle enteropatie del coniglio
- 44 - 1998 Lezioni di citologia diagnostica veterinaria
- 45 - 2000 Metodi di analisi microbiologica degli alimenti
- 46 - 2000 Animali, terapia dell'anima
- 47 - 2001 Quarantacinquesimo della Fondazione Iniziative Zooprofilattiche e Zootecniche di Brescia, 1955-2000
- 48 - 2001 Atti III Convegno Nazionale di Storia della Medicina Veterinaria
- 49 - 2001 Tipizzare le salmonelle
- 50 - 2002 Atti della giornata di studio in cardiologia veterinaria
- 51 - 2002 La valutazione del benessere nella specie bovina
- 52 - 2003 La ipofertilità della bovina da latte
- 53 - 2003 Il benessere dei suini e delle bovine da latte: punti critici e valutazione in allevamento
- 54 - 2003 Proceedings of the 37th international congress of the ISAE
- 55 - 2004 Riproduzione e benessere in conigliocultura: recenti acquisizioni scientifiche e trasferibilità in campo
- 56 - 2004 Guida alla diagnosi necroscopica in patologia suina
- 57 - 2004 Atti del XXVII corso in patologia suina e tecnica dell'allevamento
- 58 - 2005 Piccola storia della Medicina Veterinaria raccontata dai francobolli
- 59 - 2005 IV Congresso Italiano di Storia della Medicina Veterinaria
- 60 - 2005 Atti del XXVIII corso in patologia suina e tecnica dell'allevamento
- 61 - 2006 Atlante di patologia cardiovascolare degli animali da reddito
- 62 - 2006 50° Fondazione Iniziative Zooprofilattiche e Zootecniche di Brescia, 1955-2005
- 63 - 2006 Guida alla diagnosi necroscopica in patologia del coniglio
- 64 - 2006 Atti del XXIX corso in patologia suina e tecnica dell'allevamento
- 65 - 2006 Proceedings of the 2nd International Equitation Science Symposium
- 66 - 2007 Piccola storia della Medicina Veterinaria raccontata dai francobolli - II edizione
- 67 - 2007 Il benessere degli animali da reddito: quale e come valutarlo
- 68 - 2007 Proceedings of the 6th International Veterinary Behaviour Meeting
- 69 - 2007 Atti del XXX corso in Patologia Suina
- 70 - 2007 Microbi e alimenti
- 71 - 2008 V Convegno Nazionale di Storia della Medicina Veterinaria
- 72 - 2008 Proceedings of the 9th World Rabbit Congress
- 73 - 2008 Atti Corso Introduttivo alla Medicina non Convenzionale Veterinaria
- 74 - 2009 La biosicurezza in veterinaria
- 75 - 2009 Atlante di patologia suina I
- 76 - 2009 Escherichia Coli
- 77 - 2010 Attività di mediazione con l'asino
- 78 - 2010 Allevamento animale e riflessi ambientali

- 79 - 2010 Atlante di patologia suina II
PRIMA PARTE
- 80 - 2010 Atlante di patologia suina II
SECONDA PARTE
- 81 - 2011 Esercitazioni di microbiologia
- 82 - 2011 Latte di asina
- 83 - 2011 Animali d'affezione
- 84 - 2011 La salvaguardia della biodiversità
zootecnica
- 85 - 2011 Atti I Convegno Nazionale di
Storia della Medicina Veterinaria
- 86 - 2011 Atti II Convegno Nazionale di
Storia della Medicina Veterinaria
- 87 - 2011 Atlante di patologia suina III
- 88 - 2012 Atti delle Giornate di
Conciglicoltura ASIC 2011
- 89 - 2012 Micobatteri atipici
- 90 - 2012 Esperienze di monitoraggio
sanitario della fauna selvatica in
Provincia di Brescia
- 91 - 2012 Atlante di patologia della fauna
selvatica italiana
- 92 - 2013 Thermography: current status and
advances in livestock animals and
in veterinary medicine
- 93 - 2013 Medicina veterinaria (illustrato).
Una lunga storia. Idee,
personaggi, eventi
- 94 - 2014 La medicina veterinaria unitaria
(1861-2011)
- 95 - 2014 Alimenti di origine animale e
salute
- 96 - 2014 I microrganismi, i vegetali e l'uomo
- 97 - 2015 Alle origini della vita: le alghe
- 98 - 2015 Regimen Sanitatis Salerni
- 99 - 2015 Atti del VI Congresso Nazionale
di Storia della Medicina
Veterinaria
- 100 - 2015 Equus Frenatus. Morsi dalla
Collezione Giannelli
- 101 - 2016 Lactose and gluten free: alimenti
del domani?
- 102 - 2017 I modelli animali spontanei per lo
studio della fisiologia e patologia
dell'uomo
- 103 - 2017 Atti del VII Congresso Nazionale
di Storia della Medicina
Veterinaria
- 104 - 2017 Progetto legno: biodeterioramento
e salute
- 105 - 2017 Il coniglio: storia ed evoluzione
dell'allevamento in Italia e in
Europa
- 106 - 2018 Riabilitazione equestre: relazione
e progettualità
- 107 - 2018 Leggiamo insieme. Storie di
sanità fra cronaca e scienza
- 108 - 2018 The Military Veterinary Services
of the Fighting Nations in World
War One. Historical congress
- 109 - 2019 Non erano nel menù. Storie di
cibo e altro
- 110 - 2019 250 anni dalla Fondazione della
Scuola di Veterinaria di Torino
- 111 - 2019 Microbiologia e virologia in
sintesi
- 112 - 2020 Specie acquatiche nella ricerca
scientifica - Atti del Convegno
- 113 - 2020 Associazione Italiana Storia della
Medicina Veterinaria e della
Mascalcia - Atti del I Convegno
Nazionale
- 114 - 2021 Aggiornamenti sull'Allevamento
dell'Asina da Latte

Finito di stampare da



Litos s.r.l. - Gianico (BS)
nel mese di settembre 2021

ISBN 978-88-97562-30-6



9 788897 562306