

Il ruolo dei sensori nella zootecnia di precisione per il benessere animale e la sostenibilità ambientale

INTRODUZIONE

Le sfide che attendono le scienze agro-zootecniche sono riassunte in un rapporto della FAO recante un titolo volutamente esplicativo: *Come possiamo sfamare il mondo nel 2050?* (FAOSTAT, 2009). Le stime di questo rapporto indicano per il 2050 una crescita della popolazione mondiale di oltre 9 miliardi, oggi siamo poco più di 7 miliardi, di cui oltre il 70% si collocherà nella fascia urbanizzata, nel 2009 era il 49%, e il maggior contributo alla crescita demografica mondiale sarà dato dai paesi in via di sviluppo. Un rapporto successivo, *La Zootecnia nel Mondo* (McLeod, 2011), stima un incremento del consumo di carne del 73% circa entro il 2050, mentre quello di prodotti caseari salirà del 58% circa. Per soddisfare una tale richiesta di proteine animali, allo stato attuale di efficienza del settore zootecnico, si dovrebbe incrementare del 100% l'allevamento di polame, dell'80% quello dei piccoli ruminanti, del 50% quello dei bovini e del 40% quello dei suini, senza mutare l'attuale livello di sfruttamento delle risorse naturali. Diversi autori (Avery, 2001; Reilly e Willenbockel, 2010; Pulina et al., 2011) hanno evidenziato la costante riduzione della superficie disponibile ed edibile pro capite, dovuta all'incremento demografico e, in maggior misura, alla diversa destinazione d'uso di queste superfici (naturalistica, urbana, energetica). In un mondo globalizzato la sicurezza alimentare deve essere affrontata anche sotto l'aspetto qualitativo e la Direzione Generale per la salute dei consumatori dell'Unione Europea, ben consapevole di questo, nel rapporto EU 2011 manifesta viva preoccupazione per le malattie che possono trasmettersi dagli animali all'uomo e per l'eccessivo impiego di antibiotici negli allevamenti.

* Dipartimento di Agraria, Sezione Ingegneria del Territorio, Università di Sassari

AREE DI APPLICAZIONE DELLA PLF	FREQUENZA DI CAMPIONAMENTO
<i>Parametri biologici</i>	
Incremento ponderale giornaliero (IPG)	Giornaliero
Indice di conversione alimentare (ICA)	Giornaliero
Consumo mangimi (CM)	Orario
Indice di massa corporea	Giornaliero
Comportamento normale/nervoso	Giornaliero
Rilevamento calori	Orario
<i>Condizioni ambientali</i>	
Condizioni climatiche ambientali esterne e interne (locali, sale)	Orario
Temperatura e umidità del pavimento	Orario
Velocità e ricambio aria	Orario
Livello Gas, ad esempio CO ₂ e NH ₃	Orario
Livello polveri	Orario
<i>Tracciabilità e trasporto</i>	
Codice elettronico univoco	-
Condizioni ambientali di trasporto	Orario
Codice univoco per alimentazione e medicinali.	-

Tab. 1 *Sintesi delle possibili variabili ambientali e gestionali che potrebbero essere misurate, registrate e analizzate nella Plf (Durack, 2002; Berckmans, 2014)*

Il consumatore medio risulta sempre più attento alla qualità e alla provenienza delle derrate alimentari e se in passato i prodotti provenienti da sistemi che garantivano elevati livelli di benessere animale non superavano il 10% della fetta di mercato (Webster, 1999), oggi questa percentuale tende ad aumentare. Significativo, in tal senso, il risultato di uno studio (Furnols et al., 2011) che indica come il consumatore non acquisti le carni di agnello di dubbia provenienza. Termini quali: aflatossina, diossina ed Escherichia coli iniziano a entrare nel linguaggio del consumatore medio, portandolo a una spesa più attenta e ricercata.

Allo stato attuale delle conoscenze scientifiche, e data l'estrema eterogeneità di progresso tecnologico e gestionale degli allevamenti, esiste ancora un ampio margine per aumentare l'efficienza dell'intera filiera agro-zootecnica. La ricerca scientifica ha applicato diverse tipologie di sensori e tecnologie di trasmissione dei dati al fine di aumentare l'efficienza degli allevamenti. La miniaturizzazione e la riduzione dei costi di produzione di queste tecnologie consentono il monitoraggio in *real time* dei parametri ambientali e biologici del comparto zootecnico. In particolare i sensori in grado di misurare sia parametri ambientali (polveri, CO, CO₂, NO₂, O₃, CH₄, H₂S, NH₃, temperatura e radiazione), che biologici (frequenza di respirazione, temperatura corporea, posizione dell'animale, attività muscolare

e cardiaca) sono oggi gestibili da un unico microcontrollore e disponibili a prezzi accessibili.

La zootecnia di precisione Plf (Precision livestock farming) è la disciplina che racchiude quest'ottica di gestione aziendale (Berckmans, 2014) e consente di monitorare in tempo reale i numerosi parametri biologici e ambientali inerenti ciascun singolo componente della mandria. Un sistema Plf è formato sempre da tre parti: una parte fisica, detta *hardware*; una parte per l'elaborazione e la presentazione dei dati, detta *software*; una parte per la trasmissione dei dati, detta *rete*. L'hardware è rappresentato dai sensori, dai calcolatori e/o microcontrollori, dai sistemi di trasmissione e ricezione dati e dagli attuatori. I modelli matematici per l'elaborazione dei dati e l'interfaccia di presentazione dei dati sono inseriti nel software caricato all'interno del microcontrollore. In tabella 1 sono riportate delle numerose applicazioni della Plf e la loro possibile frequenza di monitoraggio (Durack, 2002; Berckmans, 2014).

Diversi autori hanno sviluppato le tematiche di interesse della Plf, quali: sistemi avanzati per il controllo dei parametri ambientali (Banhazi et al., 2009), sensori per la valutazione del benessere e del comportamento animale (Shao e Xin, 2008), sistemi per la valutazione in tempo reale del peso corporeo degli animali (Kollis et al., 2007), monitoraggio dei consumi in tempo reale dell'acqua e del mangime (Madsen e Kristensen, 2005; Madsen et al., 2005), utilizzo dei sensori per la diagnosi e il monitoraggio delle patologie (Maatje et al., 1997; Eradus e Jansen, 1999), identificazione elettronica (Naas, 2002; Samad et al., 2010), registrazione e interpretazione dei versi animali (Holst, 1999). L'inarrestabile sviluppo tecnologico offre, costantemente, possibili miglioramenti e opportunità ai sistemi implementati, anche di ultima generazione.

Un esempio eccezionale di nuove tecnologie indossabili sono gli occhiali a realtà aumentata. Questi dispositivi hanno integrato al loro interno un microcontrollore, un display, una telecamera, un microfono, una memoria e la possibilità di una connessione wireless e 3G (fig. 1). L'allevatore può visualizzare direttamente nel display integrato negli occhiali le informazioni trasmesse dal pc aziendale sullo stato dei singoli capi, senza interrompere la normale routine di lavoro. Esistono varie case produttrici di occhiali a realtà aumentata, come ad esempio i Google Glass della Google Inc. (Mountain View, California, Stati Uniti), i Moverio BT-200 della Seiko Epson Corporation (Suwa, Nagano, Giappone), gli Smart Eye Glass della Sony Corporation (Tokyo, Giappone). Le varie aziende produttrici promettono la commercializzazione, per il grande pubblico, di questi dispositivi entro il 2016. Google inc., nel febbraio 2013, ha pro-

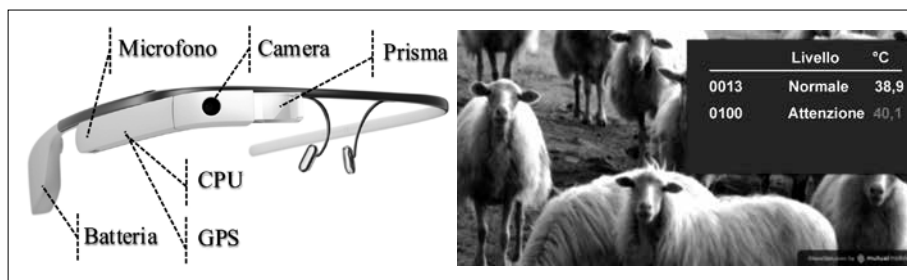


Fig. 1 A sinistra, una veduta dei Google Glass, versione Explorer 2.0. Gli occhiali a realtà aumentata sono composti da una batteria, una CPU con integrato un GPS, un microfono, una videocamera da 5 Mpx e un prisma che funge da display. Gli occhiali risultano leggeri ed ergonomici. A destra, una simulazione (<http://glasssim.com/> <http://www.sardiniapost.it/>) dell'esperienza di visione da parte dell'utente che indossa i Google Glass

mosso una versione prototipale degli occhiali, i “Google Glass Explorer Edition” (8.000 esemplari), e nell’aprile 2014, per un breve periodo, ha ampliato la vendita nei soli Stati Uniti. Nel gennaio del 2015, ha concluso il progetto Explorer per avviare una nuova fase di sviluppo degli occhiali con l’obiettivo della commercializzazione di massa. Tra gli 8000 esploratori Google Inc. ha selezionato Teunis van de Zandschulp proprietario di un’azienda zootecnica (circa 130 vacche da latte) nel Lunteren, Paesi Bassi. L’allevatore si è dichiarato entusiasta¹ dei Google Glass, in quanto gli permetteva di ricevere aggiornamenti reali circa lo stato dei suoi capi mentre continuava la normale routine di lavoro. I Google Glass sono stati recentemente testati da alcuni autori in diversi campi, principalmente in quello medico (Muensterer et al., 2014; Glauser, 2013; Feng et al., 2014, McNaney et al., 2014; Ishimaru et al., 2014).

Un obiettivo dello studio è stato quello di realizzare un’applicazione per i Google Glass in grado di mostrare, sul display integrato, la temperatura corporea di un animale. Lo studio descrive, inoltre, lo stato dell’arte dei principali componenti della Plf: il software, l’hardware e la trasmissione dei dati, focalizzando l’attenzione sulle problematiche relative alla modularità hardware e alle differenze tra i software con licenza e non.

Nei sistemi Plf il trattamento delle immagini rappresenta una delle tecniche maggiormente utilizzate poiché consente la rilevazione di parametri comportamentali, biologici e patologici, senza interferire con le attività routinarie dell’animale. Un altro obiettivo è stato quello di calcolare l’area occupata da

¹ Dairy Global, De Boerderij krant, De Boerderij magazine, Rabobank magazine.

una carcassa d'agnello utilizzando un software *open source* per l'analisi immagine, CellProfiler² (Jones et al., 2008).

STATO DELL'ARTE DELLA PLF

Sensori

Nei sistemi Plf i sensori si possono suddividere in due grandi categorie: quelli atti a rilevare grandezze ambientali e quelli atti a rilevare grandezze biologiche. Tipici parametri ambientali sono: la temperatura, l'umidità, la velocità dell'aria, la concentrazione di polveri, di CO₂, di NH₃, il livello di odore e la qualità dell'acqua. I principali parametri biologici sono la temperatura corporea, l'estro, i battiti cardiaci, il respiro, la ruminazione, l'attività cerebrale, l'attività motoria, le infezioni, le zoppie e l'alimentazione. La Plf rappresenta un tipico sistema di controllo automatico nel quale sono presenti un ingresso e un'uscita. In un sistema atto a rilevare l'estro, ad esempio, si può utilizzare un podometro che, monitorando la crescente attività motoria della bovina, segnala l'evento all'allevatore. Questo è un sistema semplice da implementare sia a livello hardware che software, ma in un sistema reale, come è noto, possiamo avere una bovina affetta da zoppia che si trova nella condizione ottimale di inseminazione. In questo caso il podometro registra una ridotta o assente attività motoria della bovina e potrebbe non individuare l'estro. Pertanto, un sistema in grado di monitorare tutte queste variabili interpretando gli scostamenti dai valori attesi, risulta complesso come hardware e come software. Per realizzare un controllo preciso risulta fondamentale la creazione di un modello matematico che includa il maggior numero possibile di variabili rappresentative dell'animale monitorato. Le principali caratteristiche che un sensore deve possedere per l'impiego nei sistemi Plf sono: l'accuratezza, l'affidabilità, la robustezza e la possibilità di registrare e trasmettere i dati. L'accuratezza di un dispositivo, che misura lo scostamento dal valore atteso, deve essere di norma inferiore al 5%. In commercio per un prezzo maggiore vi sono dispositivi più costosi in grado di trasdurre la stessa grandezza ma con accuratezza inferiore all'1%, pertanto la scelta della percentuale di accuratezza deve essere dettata dalla tipologia di grandezza da monitorare. In merito all'affidabilità e alla robustezza, vi è da rilevare che alcuni sensori in commercio non risultano idonei all'utilizzo in azienda zootecnica e necessitano, quindi, di una ripro-

² www.cellprofiler.org

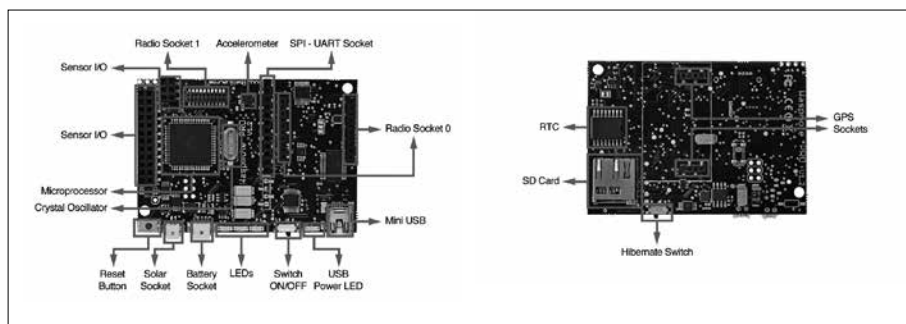


Fig. 2 A sinistra una vista dall'alto di un microcontrollore, il Wasp mote, indicati dalle frecce abbiamo, partendo dal basso e in senso orario: il pulsante per il reset della scheda, il microprocessore, i pin per l'inserimento dei sensori, l'accelerometro, i pin per la connessione dei moduli per trasmissione dei dati, una porta mini-USB per la connessione al pc e all'alimentazione dalla rete e infine la presa per il collegamento all'alimentazione da batteria o da pannello fotovoltaico; a destra una vista dal basso, dove è possibile individuare: l'ingresso per la scheda di memorizzazione SD e i pin per l'inserimento del GPS

gettazione hardware per essere, ad esempio, impermeabili all'acqua, al fango e alla polvere. Inoltre, assai spesso si rende necessaria la riprogettazione software dei sensori per rendere possibile la registrazione dei dati.

Microcontrollori

I microcontrollori costituiscono un sistema che integra in uno stesso chip il processore, la memoria permanente, la memoria volatile e i canali d'ingresso-uscita (I/O), oltre a eventuali altri blocchi specializzati (fig. 2). Questi dispositivi sono in grado di ricevere le informazioni in arrivo dai sensori e trattarle preliminarmente con gli opportuni blocchi di filtraggio e con l'eventuale conversione analogico-digitale. In seguito i microcontrollori, dopo l'elaborazione dei dati con lo specifico algoritmo, sono in grado di azionare eventuali attuatori.

Un tipico sistema di controllo automatico è composto da: un trasduttore, che acquisisce la grandezza del sistema da controllare; un convertitore analogico-digitale (A/D); un microcontrollore, che elabora la grandezza trasdotta e invia l'opportuno segnale di controllo all'attuatore (fig. 3).

Un esempio semplice di controllo automatico è dato dalla regolazione della temperatura e dell'umidità all'interno della stalla/cuccetta in funzione dalla temperatura corporea dell'animale (fig. 4).

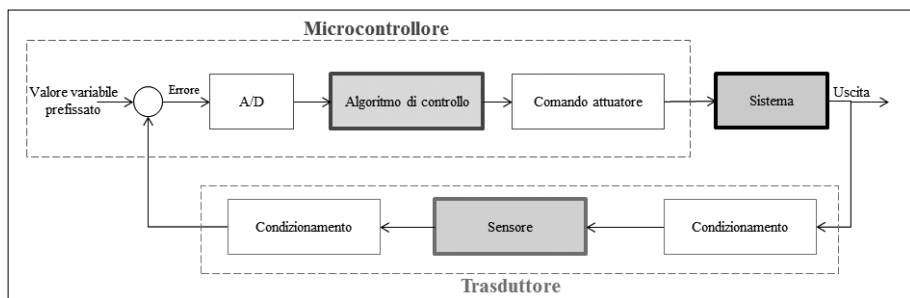


Fig. 3 Schema a blocchi di un tipico controllo automatico. Il microcontrollore ha la funzione di acquisire dai traduttori le informazioni, per poi elaborarle tramite l'algoritmo di controllo e infine di trasmettere gli opportuni comandi all'attuatore per minimizzare l'errore tra il valore desiderato e quello misurato della variabile controllata

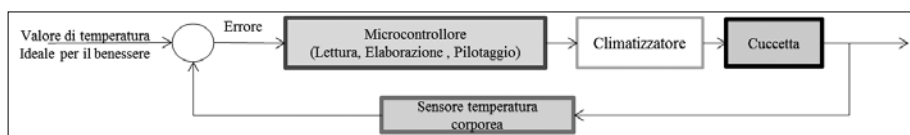


Fig. 4 Schema a blocchi di un controllo automatico per il benessere termo-igrometrico dell'animale in una cuccetta. Questo è un tipico esempio di sistema a singolo ingresso e a singola uscita, detto SISO (Single Input Single Output)

Al modificarsi della temperatura corporea dell'animale, il microcontrollore gestisce il sistema di raffreddamento o riscaldamento della cuccetta. Questo è un tipico esempio di sistema a singolo ingresso e a singola uscita, detto SISO (*Single Input Single Output*). Esistono altri tre sistemi: SIMO (*Single Input Multiple Output*), singolo ingresso e uscite multiple; MISO (*Multiple Input Single Output*), ingressi multipli e singola uscita; MIMO (*Multiple Input Multiple Output*), ingressi multipli e uscite multiple. Le reali potenzialità della Plf possono essere sfruttate solamente se si utilizza un sistema di tipo MIMO (fig. 5).

L'innalzamento della temperatura corporea degli animali stabulati, ad esempio, non sempre può essere controllato col raffreddamento della stalla perché possono intervenire diversi fattori, quali: la risposta del sistema immunitario (infezioni o ferite), il calore o altri eventi esterni. In questo caso il sistema deve essere in grado di gestire più parametri contemporaneamente al fine di individuare la reale causa dell'innalzamento della temperatura corporea e compiere la corretta azione di controllo.

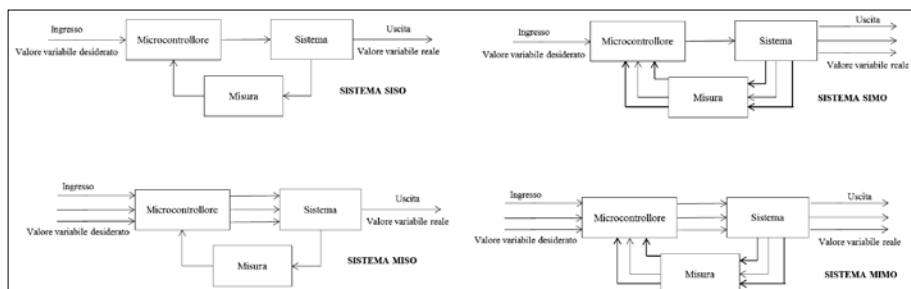


Fig. 5 Rappresentazione schematica dei sistemi SISO (ingresso singolo e uscita singola), SIMO (ingresso singolo e uscite multiple), MISO (ingressi multipli e uscita singola) e MIMO (ingressi multipli e uscite multiple)

SOFTWARE REVIEW

La Plf è una tecnologia embrionale che possiede grandi potenzialità, ma che richiede ancora un'intensa attività di ricerca e sviluppo prima di poter maturare ed essere utilizzata appieno (Wathes et al., 2008). La mancata modularità hardware e i relativi software *closed source* (software commerciale o con licenza) dei sistemi automatici proposti dalle case produttrici costituiscono i principali fattori che condizionano lo sviluppo della Plf. Molti dei sistemi oggi in commercio, infatti, non consentono di aggiungere ulteriori sensori al sistema stesso, se non quelli con il medesimo marchio commerciale e spesso le case produttrici non offrono una gamma completa di tutte le grandezze trasducibili in azienda (tab. 2). L'obiettivo della ricerca deve pertanto essere quello di creare una piattaforma libera e modulare, aperta all'evoluzione delle nuove tecnologie. La ricerca scientifica ha già proposto in altri settori sistemi modulari e liberi (*open-source*) che hanno riscosso un grande successo, se ne ricordano alcuni: VEGA (Pedretti et al., 2004), piattaforma aperta per lo sviluppo di applicazioni bio-informatiche, con architettura *plug-in* e programmazione di *script*; NA-MIC (Pieper et al., 2006), piattaforma aperta per la comunità informatica di immagini mediche; il robot umanoide iCub (Metta et al., 2008), piattaforma aperta per la ricerca sui processi cognitivi.

MODELLI MATEMATICI

Un punto chiave della Plf è la scelta dell'algoritmo che deve rappresentare, il più fedelmente possibile, la realtà del fenomeno osservato/rilevato dai sensori. La modellizzazione matematica risulta cruciale nella valutazione o clas-

	Temperatura stalla	Umidità stalla	Velocità del vento stalla	Direzione del vento stalla	Temperatura esterna	Umidità esterna	Velocità del vento esterna	Direzione del vento esterna	Livello CO ₂ stalla	Livello NH ₃ stalla	Livello odore stalla	Livello odore esterno	Mangiare consumata	Acqua consumata	Peso nati	Livello sudorazione	Registrazione audio	Registrazione video	Livello ingrassamento (back fat)	Calore	Feedback del mercato	Supporto	Controllo automatico	Accesso privato	rete	Ingresso dati manualmente	Caricamento nel PC	Software di analisi	Importa	Esporta	Conosce	Protocollo
Farmex	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	web		
Envirodata	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	pdb	
Ruddeligh	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	csv	
Skov	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	rs 232
Piggery Systems & design	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	pdb
Hofaco (B&M Slots)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	asc
Big Dutchman	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	rs232/modem
VengSystem	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	asc
Multifan	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	asc
Microfan	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	asc
Rotem	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	asc
Fanco	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	asc
Watchport	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	asc
Phason	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	asc
bsmaggi	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	asc
chretronics	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	asc
Ozonare	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	asc
Biocurtain	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	asc
VIA - (osborne)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	asc
Ethovision	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	asc
Farmfield	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	asc
Osborne	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	asc
tru-test scales	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	asc
skild/ sorti-pen	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	asc
IVOS	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	asc
Mannebeck	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	asc
Sono-grader	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	asc
Lean meter	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	asc
Piglog 105	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	asc
Super tester	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	asc

Tab. 2 *Comparazione dei sensori di diversi sistemi Plf per allevamenti suinicoli (Banhazi et al., 2003), Farmex e Skov rappresentano i sistemi più forniti rispetto alle grandezze trasducibili, ma nessun sistema in tabella è in grado di misurare il livello di odore all'interno e all'esterno della porcilaia*

sificazione di una variabile o di un evento. Nella tabella 3 sono comparati i risultati ottenuti da due sistemi per la predizione dell'estro nella bovina: l'HR Tag (SCR Engineers, Ltd., Israel) che monitora il movimento del capo e la ruminazione e l'IceQube sensor (IceRobotics, Ltd., Scotland) che monitora l'attività motoria. La specificità indica la proporzione/probabilità che una bovina priva di calori risulti negativa al test (no estro), mentre la sensibilità indica la probabilità che una bovina con l'estro risulti positiva al test (estro). I migliori risultati sono forniti dalle reti neurali, tecniche di apprendimento automatico che arrivano al 100% della sensibilità con la combinazione di entrambe le tecnologie. Recentemente si stanno sviluppando algoritmi di autoapprendimento o di apprendimento supervisionato per la regressione e la classificazione, quali le macchine a vettori di supporto e le reti neurali. I modelli di autoapprendimento, attraverso i quali si crea una sorta di memoria virtuale e un'esperienza nella catalogazione molto simile a quella dell'allevatore, diventano più precisi ed efficienti all'aumentare dei dati a disposizione. Questi modelli, che richiedono un'enorme mole di dati, sono implementati su calcolatori sempre più miniaturizzati e potenti.

MODELLO MATEMATICO	TECNOLOGIA	SENSIBILITÀ ¹	SPECIFICITÀ ²
Foresta casuale	HR Tag	44,4%	95,3%
	IceCube	88,9%	98,2%
	HR Tag + IceCube	88,9%	98,2%
Analisi discriminante lineare	HR Tag	77,8%	88,8%
	IceCube	77,8%	98,2%
	HR Tag + IceCube	77,8%	97,6%
Rete neurale	HR Tag	55,6%	91,8%
	IceCube	88,9%	93,5%
	HR Tag + IceCube	100,0%	96,5%
¹ Sensibilità = Veri positivi / (Veri positivi + Falsi negativi) x 100			
² Specificità = Veri negativi / (Veri negativi + Falsi positivi) x 100			

Tab. 3 *Confronto della precisione di corretta classificazione dell'estro della bovina per diversi modelli matematici a parità di sensore (Borchers, 2015). Il modello a rete neurale permette, utilizzando contemporaneamente i dati del sensore IceCube e del HR Tag, la perfetta individuazione di una bovina con estro*

STATO DELL'ARTE DEI SENSORI NELLA PLF

L'allevatore monitora la sua mandria tramite l'analisi sensoriale ed è guidato nelle scelte decisionali dall'esperienza maturata negli anni (Wathes et al., 2008), ma l'incremento del numero di capi per allevamento rende sempre più difficile il monitoraggio diretto (Guarino, 2005). La Plf permette l'implementazione di sistemi automatici in grado di monitorare, fra l'altro, l'attività motoria degli animali (Cangar et al., 2008; Aydin et al., 2010), la tracciabilità (Barcos, 2001; Kashiha et al., 2013), il comportamento (Leroy et al., 2006), il benessere (Song et al., 2008; Poursaberiet al., 2010; Viazzi et al., 2011) e il tasso di crescita (De Wet et al., 2003; Demmers et al., 2012). Uno degli scopi principali della Plf è quello di fornire un supporto all'allevatore nell'osservazione della mandria e del singolo animale, utilizzando sensori e tecniche di monitoraggio quali, ad esempio, l'analisi dell'immagine e del suono. Queste tecniche consentono di ottenere le informazioni necessarie senza sottoporre l'animale a metodiche invasive di rilevamento che, sottoponendo l'animale a stress, rischiano di falsare le misure (Cangar et al., 2008).

L'ANALISI IMMAGINE IN ZOOTECNIA

L'analisi immagine è una tecnica non invasiva per acquisire informazioni comportamentali, produttive e patologiche nelle diverse specie. Alcuni studi hanno utilizzato le tecniche di analisi immagine per valutare, ad esempio,

il confort termico che influisce in misura significativa sulla produzione di latte e sul comportamento nei bovini (Kadzere et al., 2002; Bohmanova et al., 2007), nei suini (Shao e Xin et al., 1998; Xin e Shao et al., 2008) e nei pulcini (Cassuce et al., 2013), mentre non sono presenti studi negli allevamenti semi-stabulati e allo stato brado. Attraverso la valutazione di specifiche regioni anatomiche dell'animale è possibile calcolare il peso in vivo o lo stato d'ingrassamento – Body Condition Score (BCS) – nei suini (Brandl e Jorgensen, 1996), nei bovini da latte e da carne (Ferguson et al., 2006; Bewley et al., 2008; Roche et al., 2009; Azzaro et al., 2011), nelle bufale (Negretti et al., 2008) e nei polli (De Wet et al., 2003), mentre non sono presenti studi riguardanti gli allevamenti equini e ovi-caprini, per questi ultimi si utilizza il metodo a mano (Santucci e Maestrini, 1985; Thompson e Meyer, 1994).

Il monitoraggio del BCS e del peso dell'animale rappresenta un importante indicatore per la gestione aziendale: una bovina troppo grassa, ad esempio, può incorrere in parti difficili, mentre un'eccessiva magrezza può causare una diminuzione delle produzioni e delle qualità lattiere. Recentemente, utilizzando algoritmi e software sempre più efficienti, sono stati proposti sistemi di misura del peso estremamente accurati nei suini e nei bovini (Wang et al., 2008; Kashiha et al., 2014; Ozkaya et al., 2015). Tecniche di analisi immagine sono state utilizzate anche per il monitoraggio del comportamento e per valutare stati di panico o malessere nei suini (Costa et al., 2014), nei bovini (DeVries et al., 2004; Stubbsjøen et al., 2009) e nei polli (Vranken et al., 2005). Con l'analisi immagine è possibile, inoltre, monitorare alcuni stati patologici, come ad esempio le zoppie nei cavalli (White et al., 2008) e nei bovini (Van Hertem et al., 2015). Di pari importanza risulta la possibilità di monitorare il tempo passato dagli animali in mangiatoia e la quantità di foraggio ingerita negli allevamenti avicoli (Mehdizadeh et al., 2015) e nei bovini da latte (Porto et al., 2014; Shelley e Anthony, 2013).

Esistono numerosi software con licenza per l'analisi immagine che garantiscono funzionalità diverse legate al prezzo del prodotto, mentre quelli *open source* sono: ImageJ³, Fiji⁴, OpenCV⁵ (il più completo ma sprovvisto di interfaccia grafica), Simplecv⁶ e CellProfiler⁷. Quest'ultimo è nato per i biologi privi di una formazione nella programmazione informatica per analizzare le immagini con particolare riferimento alle cellule. Il software è dotato di

³ <http://rsb.info.nih.gov/ij/>

⁴ <http://fiji.sc/Fiji>

⁵ <http://opencv.org/>

⁶ <http://www.simplecv.org/>

⁷ <http://www.cellprofiler.org/>

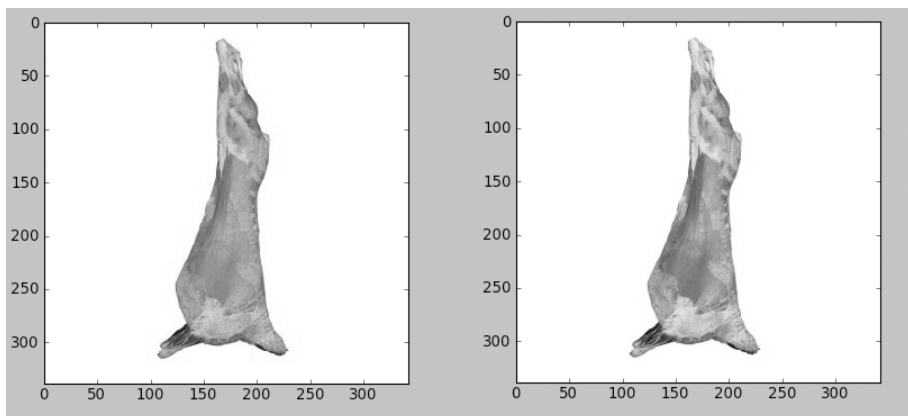


Fig. 6 *Trattamento dell'immagine prima della sua elaborazione; a sinistra l'immagine originale, a destra la carcassa dell'agnello dopo la conversione da RGB a scala di grigi*

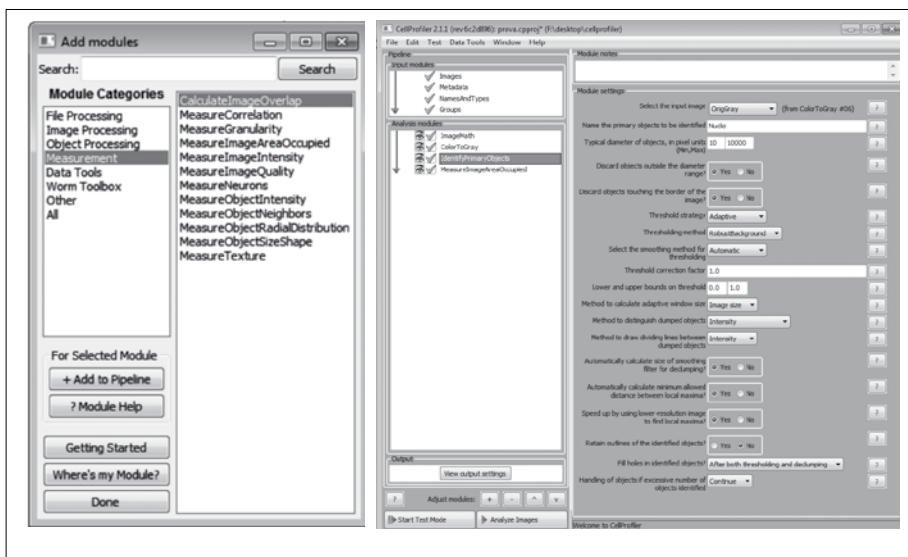


Fig. 7 *A destra la schermata del software per l'inserimento dei moduli per l'analisi immagine, a sinistra la schermata con la selezione dell'algoritmo e di altri parametri per l'analisi dell'area occupata dalla carcassa dell'agnello*

una serie di moduli che consentono di rilevare diverse grandezze dall'analisi dell'immagine, ma una delle potenzialità più interessanti del software è la possibilità di modificare moduli o di crearne di nuovi per soddisfare particolari esigenze (Carpenter et al., 2006; Lamprecht et al., 2007; Jones et al., 2008;

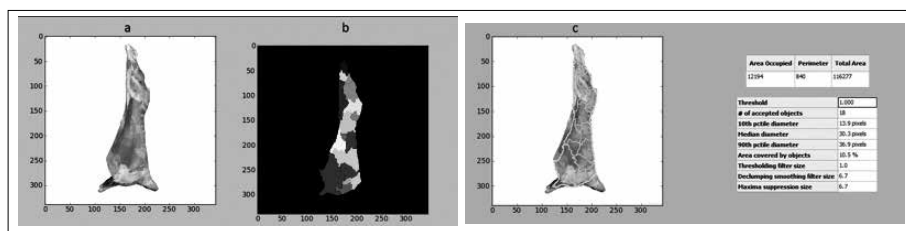


Fig. 8 Esempio di calcolo dell'area occupata nell'immagine dalla carcassa d'agnello tramite il software CellProfiler

Stöter et al., 2013; Bray e Carpenter, 2015). Si è scelto a titolo d'esempio l'analisi immagine di una carcassa d'agnello⁸ che è stata selezionata utilizzando il motore di ricerca specifico di Google. Prima di procedere al calcolo dell'area occupata dalla carcassa è necessario trasformare l'immagine da RGB a scala di grigi (fig. 6), opzione effettuabile tramite i moduli di trasformazione delle immagini disponibili all'interno del software CellProfiler. Nel software si possono selezionare dei moduli che permettono l'estrazione di diverse misure quali, ad esempio (figg. 7 e 8): l'area, l'intensità, il perimetro, la granularità.

ANALISI SUONO

L'analisi del verso degli animali è un metodo non invasivo che consente la valutazione di diversi parametri come il benessere e il comportamento (Watts e Stookey, 2000; Chung et al., 2013). Questa tecnica consente di monitorare parametri comportamentali, patologici e produttivi quali, ad esempio, la quantità di sostanza secca ingerita dall'animale (Schirmann et al., 2009), il comportamento (Deshmukh et al., 2012), l'identificazione e la localizzazione del singolo capo (Tamaki et al 1993; Jahns et al., 1999; Ikeda et al., 2003), il tempo passato nella masticazione (Laca e Wallis De Vries, 2000), l'estro (Kim et al., 2010), le zoppie (Whay et al., 1998; Rajkondawar et al., 2002) e i livelli di emissione di gas metabolici responsabili dell'inquinamento dell'aria (Van Hirtum e Berckmans, 2002). Gli studi finora condotti si sono concentrati soprattutto negli allevamenti stabulati dei suini (Weary et al., 1998), degli avicoli, dei bovini (Lee et al., 2015) e solo in parte nel settore equino (Moehlman, 1998), ovino (Walser et al., 1980; Kendrick et al., 1995) e caprino (Shelton, 1980).

⁸ <http://hashimidrisfood.com/product/lamb-carcass-1-kg/>

MICROCONTROLLORE	ATMEGA1281
frequenza	14MHz
SRAM	8KB
EEPROM	4KB
FLASH	128KB
Scheda SD	2GB
Peso	20gr
Dimensioni	73.5 x 51 x 13 mm
Clock	RTC (32KHz)
consumo acceso	15mA
consumo elettrico a riposo	55uA
consumo in ibernazione	0.7uA

Tab. 4 *Caratteristiche tecniche del microcontrollore Waspnote: leggero e dai bassi consumi si presta agevolmente per l'utilizzo in sistemi Plf*

IL PROBLEMA DELLA MODULARITÀ HARDWARE E DEL SOFTWARE PROPRIETARIO

La mancanza di un software libero seguito da una minima modularità hardware rappresenta un freno per la diffusione della Plf. In commercio sono disponibili diverse piattaforme per la prototipazione rapida, tra le quali: Arduino (Interaction Design Institute, Ivrea, Italia), Waspnote (Libellium CTO, Calle Escatrón, 16, 50014 Zaragoza, Spagna), Raspberry Pi (PiRaspberry Pi Foundation, Caldecote, South Cambridgeshire, Regno Unito). Queste piattaforme sono modulari, a basso costo e con una grande comunità attiva sul web, che spazia dall'ingegneria all'agricoltura. Il microcontrollore Waspnote, ad esempio, caratterizzato da elevata velocità e bassi consumi, ha integrato un sensore di temperatura che consente una lettura da -40°C a +85°C con un'accuratezza di 0,25°C (tab. 4). All'interno della scheda è compreso un accelerometro $\pm 2g/\pm 4g/\pm 8g$ e ha la possibilità di avere integrato il Gps modello JN3 –Telit, che consente di ottenere informazioni quali: latitudine, longitudine, altitudine, velocità, direzione, data/ora.

La caratteristica più interessante del microcontrollore Waspnote è costituita dalle schede aggiuntive disponibili per il monitoraggio di diversi parametri ambientale e biologici (tab. 5). La connessione intuitiva delle schede al microcontrollore richiede minime conoscenze tecniche, mentre la programmazione delle schede richiede più tempo. Grazie ai numerosi componenti aggiuntivi è possibile misurare diversi parametri ambientali, chimici (fig. 9), biologici, fisici e meccanici quali: l'inquinamento dell'aria, la qualità dell'aria, le emissioni in azienda, i valori ambientali in serra, le grandezze di controllo



Fig. 9 La scheda per il monitoraggio dei Gas è già cablata e deve solo essere inserita negli appositi pin dello Waspnote, inoltre i sensori sono calibrati e forniti di certificazione, parametri fondamentali che distinguono un sensore per misure hobbistiche da uno per quelle scientifiche

industriali e per gli incendi boschivi, la potabilità dell'acqua o il livello di inquinamento nei fiumi o nei mari, la localizzazione delle merci o la tracciabilità degli animali, la vibrazione e la pressione, il livello di liquidi e o solidi, grandezze meteorologiche, il diametro dei frutti, il livello di bagnabilità fogliare e l'umidità del terreno.

Fondamentale poi la scheda per la prototipazione rapida che consente la realizzazione e l'integrazione all'interno del microcontrollore Waspnote di qualunque sensore, questa scheda rappresenta la soluzione al problema della modularità hardware, uno dei punti critici dei sistemi Plf ossia di inserire al loro interno nuovi sensori disponibili grazie alle innovazioni future senza stravolgere il sistema già integrato in azienda.

PARAMETRI CHIMICI / FISICI				MECCANICI	AMBIENTALI
Monossido di carbonio	CO	Calcio	Ca ²⁺	Pressione	Aria di temperatura / umidità
Diossido di carbonio	CO ₂	Fluoruro	F ⁻	Inclinazione	Terreno di temperatura / umidità
Ossigeno molecolare	O ₂	Fluoborato	BF ₄ ⁻	Vibrazione	Bagnatura fogliare
Ozono	O ₃	Nitrato	NO ₃ ⁻	Impatto	Anemometro
Monossido di azoto	NO	Bromuro	Br ⁻	Effetto Hall	Radiazione solare
Biossido di azoto	NO ₂	Cloruro	Cl ⁻	Luminosità	Radiazione ultravioletta - UV
Diossido di zolfo	SO ₂	Cuprico	Cu ²⁺	Temperatura	Diametro tronco
Ammoniaca	NH ₃	Ioduro	I ⁻	Presenza liquidi	Diametro stelo
Metano	CH ₄			Perdite liquidi	Diametro frutto
Idrogeno molecolare	H ₂	pH		Livello liquidi	Segnavento
Idrogeno solforato	H ₂ S	Ossigeno disciolto		Peso	Luminosità
Cloruro di idrogeno	HCl	Conducibilità		Suoni	Ultrasound (distance measurement)
Acido cianidrico	HCN	Temperatura			Potenziale di Ossidazione-Riduzione
Fosfina	PH ₃	Torbidità			Pressione atmosferica
Ossido di etilene	ETO				
Cloro	Cl ₂				
Polveri	PM 1/2,5/10				

Tab. 5 Parametri chimici, fisici, meccanici e tecnologici che possono essere misurati con le diverse schede già assemblate del microcontrollore Waspnote

La parte concernente la trasmissione dei dati rappresenta uno dei punti più delicati dei sistemi Plf. Il microcontrollore Waspnote offre estrema flessibilità nella trasmissione e ricezione dei dati tramite svariate protocolli di comunicazione, quali: 802.15.4 / ZigBee, LoRa 868 / 915MHz, Bluetooth Low Energy (BLE) 4.0 e Wifi (tab. 6). Sono disponibili sistemi di comunicazione in grado di trasmettere a grandi distanze come ad esempio, il modulo XBee-900 che è in grado di ricevere e comunicare dati oltre i 10 km. Inoltre, vi è la possibilità di criptare la comunicazione, qualora vi fosse la necessità, con chiave AES 128b.

MODELLO	PROTOCOLLO	FREQUENZA	TX POTENZA
XBee-802.15.4	802.15.4	2.4GHz	100mW
XBee-ZB-Pro	Zigbee	2.4GHz	50mW
XBee-868	RF	868MHz	315mW
XBee-900	RF	900MHz	50mW

Tab. 6 *Panoramica dei diversi protocolli di comunicazione, di tipo Xbee, disponibili per il microcontrollore Waspnote. All'aumentare delle distanze di trasmissione dei dati corrispondono moduli di comunicazione necessariamente più energivori. Il consumo elettrico è un parametro da tenere sotto controllo durante la progettazione dei sistemi Plf*

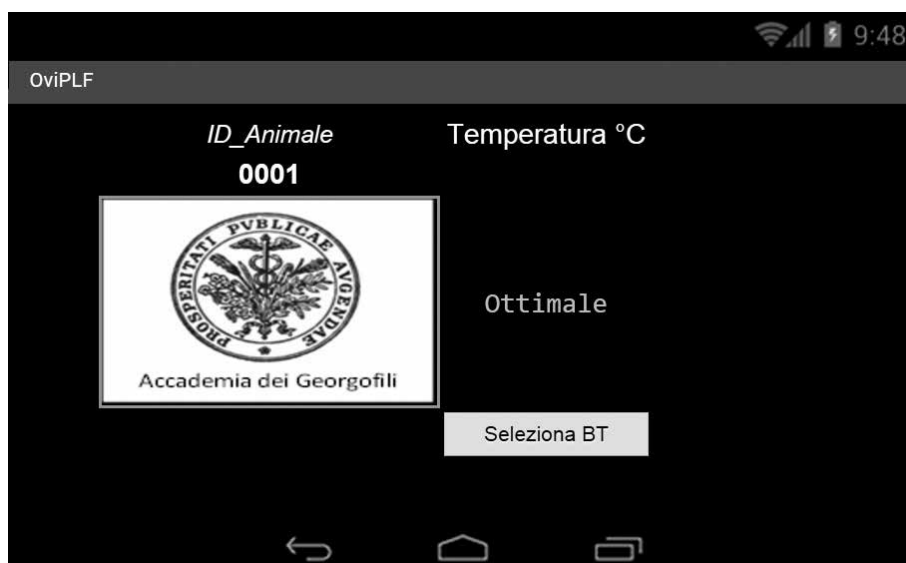


Fig. 10 *La schermata dell'app Oviplf. In alto a sinistra il codice identificativo dell'animale in alto a destra la temperatura, monitorata in tempo reale, e in basso a destra il pulsante per selezionare il Bluetooth, che permette di comunicare con il sistema per la rilevazione della temperatura corporea dell'animale*

I GOOGLE GLASS PER IL MONITORAGGIO DELLA TEMPERATURA CORPOREA DELL'ANIMALE

Il monitoraggio della temperatura corporea dell'animale rappresenta un importante parametro per la gestione aziendale poiché è quasi sempre associato a problematiche patologiche, produttive e fisiologiche (Tucker et al., 2008, Suthar et al., 2011, Badakhshan e Abshenas 2015). Il monitoraggio in tempo reale dello stato degli animali è oggi possibile, durante la normale routine di lavoro, grazie all'utilizzo degli occhiali a realtà aumentata. La sezione di In-

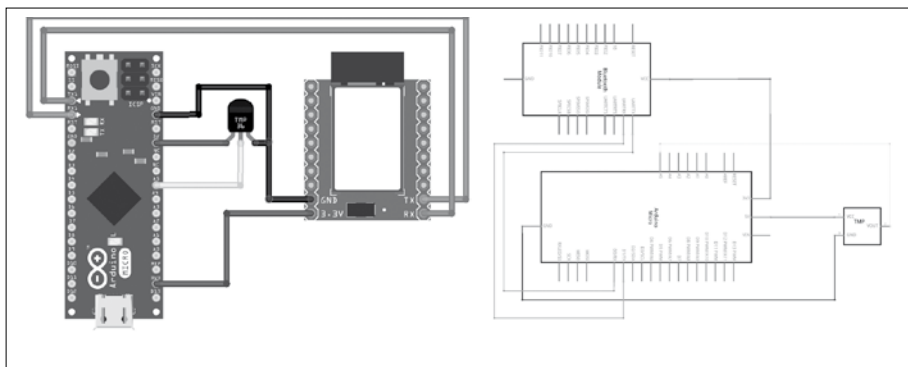


Fig. 11 *A sinistra una rappresentazione del sistema per la rilevazione della temperatura costituito da: un microcontrollore Arduino, un sensore di temperatura analogico LM35 e un modulo di trasmissione dati Bluetooth; a destra lo schema del circuito elettronico*

gegneria del Territorio del Dipartimento di Agraria dell'Università di Sassari ha realizzato un'applicazione, *Oviplf*, che mostra, nel display integrato dei Google Glass, la temperatura corporea dell'animale (fig. 10).

L'applicazione è stata realizzata utilizzando il software gratuito *MIT app inventor*⁹, ambiente di sviluppo per applicazioni *Android* gestito dal Massachusetts Institute of Technology. La rilevazione della temperatura è stata effettuata tramite un sensore analogico LM35, in grado di rilevare la temperatura in un intervallo compreso tra i 2°C e i +150°C con un'accuratezza pari a $\pm 0,5^\circ\text{C}$. Il valore trasdotto viene inviato ai Google Glass tramite il modulo Bluetooth HC-06 del microcontrollore Arduino. Il circuito e lo schema elettronico (fig. 11) sono stati realizzati utilizzando il software per la progettazione elettronica Fritzing (Knörig et al., 2009) versione 0.9.2b. *Oviplf* è un'applicazione estremamente modulare e risponde a una delle principali necessità della Plf, ossia fornire un supporto all'allevatore nella gestione del singolo animale in mandrie che, col passare degli anni, diventano sempre più numerose.

ABSTRACT

FAO estimates predict for 2050, as a result of a global growth in population, an increase in the demand for animal protein, especially in developing countries. It appears, therefore, the need to increase efficiency and reduce waste in the agro-livestock and to this end it is essential a real-time monitoring of many biological and environmental parameters.

⁹ <http://appinventor.mit.edu/explore/>

One of the disciplines that can operate in this direction is the Plf (Precision livestock farming). This study describes the state of the main components of Plf: software, hardware and data transmission, focusing on issues related to the modular hardware and the differences between the licensed software and not. It has been developed, finally, an application, Oviplf, highly modular, able to detect the animal's body temperature and display it in real time in the integrated display of Google Glass, augmented reality glasses.

BIBLIOGRAFIA

- AYDIN A., CANGAR O., OZCAN S. E., BAHR C., BERCKMANS D. (2010): *Application of a fully automatic analysis tool to assess the activity of broiler chickens with different gait scores*, «Computers and Electronics in Agriculture», 73 (2), pp. 194-199.
- AVERY M. (2001): *Habitat conservation-a framework for future action*, «Ecos-British Association Of Nature Conservationists», 22 (1), pp. 3-7.
- AZZARO G., CACCAMO M., FERGUSON J. D., BATTIATO S., FARINELLA G. M., GUARNERA G. C., LICITRA G. (2011): *Objective estimation of body condition score by modeling cow body shape from digital images*, «Journal of dairy science», 94 (4), pp. 2126-2137.
- BADAKHSHAN Y., ABSHENAS J. (2015): *Changes in body temperature, respiration, heart rate and certain serum biochemical parameters of sheep during summer heat stress in Jiroft*, «Journal of Veterinary Research», 70 (3), Pe333-Pe339.
- BANHAZI T., BLACK J. (2009): *Precision livestock farming: a suite of electronic systems to ensure the application of best practice management on livestock farms*, «Australian Journal of Multi-disciplinary Engineering», 7 (1), p. 1.
- BANHAZI T., DUNN M., COOK P., DURACK M. (2003): *Review of Precision Livestock Farming (PLF) technologies for the Australian pig industry*.
- BARCOS L. O. (2001): *Recent developments in animal identification and the traceability of animal products in international trade*, «Revue scientifique et technique (International Office of Epizootics)», 20 (2), pp. 640-651.
- BERCKMANS D. (2014): *Precision livestock farming technologies for welfare management in intensive livestock systems*, «Rev. sci. tech. Off. int. Epiz», 33 (1), pp. 189-196.
- BEWLEY J. M., PEACOCK A. M., LEWIS O., BOYCE R. E., ROBERTS D. J., COFFEY M. P., SCHUTZ M. M. (2008): *Potential for estimation of body condition scores in dairy cattle from digital images*, «Journal of dairy science», 91 (9), pp. 3439-3453.
- BOHMANOVA J., MISZTAL I., COLE J. B. (2007): *Temperature-humidity indices as indicators of milk production losses due to heat stress*, «Journal of Dairy Science», 90 (4), pp. 1947-1956.
- BORCHERS M. R. (2015): *An evaluation of precision dairy farming technology adoption, perception, effectiveness, and use*.
- BRANDL N., JØRGENSEN E. (1996): *Determination of live weight of pigs from dimensions measured using image analysis*, «Computers and electronics in agriculture», 15 (1), pp. 57-72.
- BRAY M. A., CARPENTER A. E. (2015): *CellProfiler Tracer: exploring and validating high-throughput, time-lapse microscopy image data*, «BMC bioinformatics», 16 (1), p. 368.
- CANGAR O., LEROY T., GUARINO M., VRANKEN E., FALLON R. J., LENEHAN J. J., BERCKMANS D. (2007): *Model-based calving monitor using real time image analysis*, «Precision Livestock Farming», 7, pp. 291-298.

- CARPENTER A. E., JONES T. R., LAMPRECHT M. R., CLARKE C., KANG I. H., FRIMAN O., SABATINI D. M. (2006): *CellProfiler: image analysis software for identifying and quantifying cell phenotypes*, «Genome biology», 7 (10), R100.
- CASSUCE D. C., TINÔCO I. D. F., BAÊTA F. C., ZOLNIER S., CECON P. R., VIEIRA M. D. F. (2013): *Thermal comfort temperature update for broiler chickens up to 21 days of age*, «Engenharia Agrícola», 33 (1), pp. 28-36.
- CHUNG Y., OH S., LEE J., PARK D., CHANG H. H., KIM S. (2013): *Automatic detection and recognition of pig wasting diseases using sound data in audio surveillance systems*, «Sensors», 13 (10), pp. 12929-12942.
- COSTA A., ISMAYILOVA G., BORGONOV F., VIAZZI S., BERCKMANS D., GUARINO M. (2014): *Image-processing technique to measure pig activity in response to climatic variation in a pig barn*, «Animal Production Science», 54 (8), pp. 1075-1083.
- DE WET L., VRANKEN E., CHEDAD A., AERTS J. M., CEUNEN J., BERCKMANS D. (2003): *Computer-assisted image analysis to quantify daily growth rates of broiler chickens*, «British poultry science», 44 (4), pp. 524-532.
- DEMMERS T. G. M., GAUSS S., WATHES C. M., CAO Y., PARSONS D. J. (2012): *Simultaneous monitoring and control of pig growth and ammonia emissions*, In The Ninth International Livestock Environment Symposium (ILES IX), International Conference of Agricultural Engineering-CIGR-AgEng 2012, Agriculture and Engineering for a Healthier Life, Valencia, Spain, 8-12 July 2012 (pp. C-1323), CIGR-EurAgEng.
- DESHMUKH O., RAJPUT N., SINGH Y., LATHWAL S. (2012, November): *Vocalization patterns of dairy animals to detect animal state*, In Pattern Recognition (ICPR), 2012 21st International Conference on (pp. 254-257), IEEE.
- DEVRIES T. J., VON KEYSERLINGK M. A. G., WEARY D. M. (2004): *Effect of feeding space on the inter-cow distance, aggression, and feeding behavior of free-stall housed lactating dairy cows*, «Journal of dairy science», 87 (5), pp. 1432-1438.
- DURACK M. (2002): *Precision Pig Farming- Where Are You Pigs And What Are They Up To?*, National Centre for Engineering in Agriculture, Toowoomba.
- ERADUS W. J., JANSEN M. B. (1999): *Animal identification and monitoring*, «Computers and Electronics in Agriculture», 24 (1), pp. 91-98.
- EUROPEAN COMMISSION (EC) DIRECTORATE-GENERAL FOR HEALTH CONSUMERS (2011): *Communication from the Commission to the European Parliament and the Council. Action plan against the rising threats from antimicrobial resistance*, EC, Brussels.
- FENG S., CAIRE R., CORTAZAR B., TURAN M., WONG A., OZCAN A. (2014): *Immunochromatographic diagnostic test analysis using Google Glass*, «ACS nano», 8 (3), pp. 3069-3079.
- FERGUSON J. D., AZZARO G., LICITRA G. (2006): *Body condition assessment using digital images*, «Journal of dairy science», 89 (10), pp. 3833-3841.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO) (2009): *How to feed the world in 2050*, FAO, Rome.
- FURNOLS M. F., REALINI C., MONTOSI F., SAÑUDO C., CAMPO M. M., OLIVER M. A., GUERRERO L. (2011): *Consumer's purchasing intention for lamb meat affected by country of origin, feeding system and meat price: A conjoint study in Spain, France and United Kingdom*, «Food Quality and Preference», 22 (5), pp. 443-451.
- GLAUSER W. (2013): *Doctors among early adopters of Google Glass*, «Canadian Medical Association. Journal», 185 (16), p. 1385.
- GUARINO M. (2005): *La zootecnia di precisione cambierà il nostro futuro? (Livestock precision farming will change our future?)*, «Informatore zootecnico», 18 -21.

- HOLST P. J. (1999): *Recording and on-farm evaluations and monitoring: breeding and selection*, «Small Ruminant Research», 34 (3), pp. 197-202.
- IKEDA Y., JAHNS G., KOWALCZYK W., WALTER K. (2000, November): *Acoustic analysis to recognize individuals and animal conditions*, In The XIV Memorial CIGR World Congress, P (Vol. 8206).
- ISHIMARU S., KUNZE K., KISE K., WEPPNER J., DENGEL A., LUKOWICZ P., BULLING A. (2014, March): *In the blink of an eye: combining head motion and eye blink frequency for activity recognition with google glass*, In Proceedings of the 5th Augmented Human International Conference (p. 15), ACM.
- JAHNS G., WALTER K. (2002): *Acoustic analysis to recognize individuals and animal conditions*, In Second Workshop on Smart Technology in Livestock-Monitoring.
- JONES T. R., KANG I. H., WHEELER D. B., LINDQUIST R. A., PAPALLO A., SABATINI D. M., CARPENTER A. E. (2008): *CellProfiler Analyst: data exploration and analysis software for complex image-based screens*, «BMC bioinformatics», 9 (1), p. 482.
- KADZERE C. T., MURPHY M. R., SILANIKOVE N., MALTZ E. (2002): *Heat stress in lactating dairy cows: a review*, «Livestock production science», 77 (1), pp. 59-91.
- KASHIHA M., BAHR C., HAREDAŠHT S. A., OTT S., MOONS C. P., NIEWOLD T. A., BERCKMANS D. (2013): *The automatic monitoring of pigs water use by cameras*, «Computers and electronics in agriculture», 90, pp. 164-169.
- KENDRICK K. M., ATKINS K., HINTON M. R., BROAD K. D., FABRE-NYS C., KEVERNE B. (1995): *Facial and vocal discrimination in sheep*, «Animal Behaviour», 49 (6), pp. 1665-1676.
- KIM Y. K., SEO E. G., LEE S. S., SUH E. H., HOUPPT K. A., LEE H. C., YEON S. C. (2010): *Comparative analysis of vocalizations of thoroughbred mares (Equus caballus) between estrus and diestrus*, «Journal of Veterinary Medical Science», 72 (7), pp. 929-933.
- KNÖRIG A., WETTACH R., COHEN J. (2009, February): *Fritzing: a tool for advancing electronic prototyping for designers*, In Proceedings of the 3rd International Conference on Tangible and Embedded Interaction (pp. 351-358), ACM.
- KOLLIS K., PHANG C. S., BANHAZI T. M., SEARLE S. J. (2007): *Weight estimation using image analysis and statistical modelling: a preliminary study*, «Applied Engineering in Agriculture», 23 (1), p. 91.
- LACA E. A., WALLISDEVRIES M. F. (2000): *Acoustic measurement of intake and grazing behaviour of cattle*, «Grass and Forage Science», 55 (2), pp. 97-104.
- LAMPRECHT M. R., SABATINI D. M., CARPENTER A. E. (2007): *CellProfiler™: free, versatile software for automated biological image analysis*, «Biotechniques», 42 (1), p. 71.
- LEE J., NOH B., JANG S., PARK D., CHUNG Y., CHANG H. H. (2015): *Stress Detection and Classification of Laying Hens by Sound Analysis*, «Asian-Australasian journal of animal sciences», 28 (4), p. 592.
- LEROY T., VRANKEN E., ET AL. (2006): *A computer vision method for on-line behavioral quantification of individually caged poultry*, «Transactions of the ASAE», 49 (3), p. 8.
- MAATJE K., LOEFFLER S. H., ENGEL B. (1997): *Predicting optimal time of insemination in cows that show visual signs of estrus by estimating onset of estrus with pedometers*, «Journal of Dairy Science», 80 (6), pp. 1098-1105.
- MADSEN P. T., JOHNSON M., DE SOTO N. A., ZIMMER W. M. X., TYACK P. (2005): *Biosonar performance of foraging beaked whales (Mesoplodon densirostris)*, «Journal of Experimental Biology», 208 (2), pp. 181-194.
- MADSEN T. N., KRISTENSEN A. R. (2005): *A model for monitoring the condition of young pigs by their drinking behavior*, «Computers and electronics in agriculture», 48 (2), pp. 138-154.

- MCLEOD A. (2011): *World livestock 2011-livestock in food security*, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).
- MCMANEY R., VINES J., ROGGEN D., BALAM M., ZHANG P., POLIAKOV I., OLIVIER P. (2014, April): *Exploring the acceptability of google glass as an everyday assistive device for people with Parkinson's*, In Proceedings of the 32nd annual ACM conference on Human factors in computing systems (pp. 2551-2554), ACM.
- MEHDIZADEH S. A., NEVES D. P., TSCHARKE M., NÄÄS I. A., BANHAZI T. M. (2015): *Image analysis method to evaluate beak and head motion of broiler chickens during feeding*, «Computers and Electronics in Agriculture», 114, pp. 88-95.
- METTA G., SANDINI G., VERNON D., NATALE L., NORI F. (2008, August): *The iCub humanoid robot: an open platform for research in embodied cognition*, In Proceedings of the 8th workshop on performance metrics for intelligent systems (pp. 50-56): ACM.
- MOEHLMAN P. D. (1998): *Behavioral patterns and communication in feral asses (Equus africanus)*, «Applied Animal Behaviour Science», 60 (2), pp. 125-169.
- MUENSTERER O. J., LACHER M., ZOELLER C., BRONSTEIN M., KÜBLER J. (2014): *Google Glass in pediatric surgery: An exploratory study*, «International Journal of Surgery», 12 (4), pp. 281-289.
- NAAS I. (2002): *Applications of Mechatronics to Animal Production*, Agric Engineering Intl. The CIGR Journal of Scientific Research and Development., Invited Overview Paper, Vol. IV, Presented at the Club of Bologna meeting, July 27, 2002, Chicago, IL., USA.
- NEGRETTO P., BIANCONI G., BARTOCCI S., TERRAMOCCIA S., VERNA M. (2008): *Determination of live weight and body condition score in lactating Mediterranean buffalo by Visual Image Analysis*, «Livestock Science», 113 (1), pp. 1-7.
- OZKAYA S., NEJA W., KREZEL-CZOPEK S., OLER A. (2015): *Estimation of bodyweight from body measurements and determination of body measurements on Limousin cattle using digital image analysis*, «Animal Production Science».
- PEDRETTI A., VILLA L., VISTOLI G. (2004): *VEGA-an open platform to develop chemo-bio-informatics applications, using plug-in architecture and script programming*, «Journal of computer-aided molecular design», 18 (3), pp. 167-173.
- PIEPER S., LORENSEN B., SCHROEDER W., KIKINIS R. (2006, April): *The NA-MIC Kit: ITK, VTK, pipelines, grids and 3D slicer as an open platform for the medical image computing community*, In Biomedical Imaging: Nano to Macro, 2006, 3rd IEEE International Symposium on (pp. 698-701), IEEE.
- PORTO S. M. C., ARCIDIACONO C., GIUMMARRA A., ANGUZZA U., CASCONI G. (2014): *Localisation and identification performances of a real-time location system based on ultra wide band technology for monitoring and tracking dairy cow behaviour in a semi-open free-stall barn*, «Computers and Electronics in Agriculture», 108, pp. 221-229.
- POURSABERI A., BAHR C., PLUK A., VAN NUFFEL A., BERCKMANS D. (2010): *Real-time automatic lameness detection based on back posture extraction in dairy cattle: Shape analysis of cow with image processing techniques*, «Computers and Electronics in Agriculture», 74 (1), pp. 110-119.
- PULINA G., FRANCESCONI A. H. D., MELE M., RONCHI B., STEFANON B., STURARO E., TREVISI E. (2011): *Sfamare un mondo di nove miliardi di persone: le sfide per una zootecnica sostenibile*, «Italian Journal of Agronomy», 6 (2s), p. 7.
- RAJKONDWAR P. G., TASCH U., LEFCOURT A. M., EREZ B., DYER R. M., VARNER M. A. (2002): *System for Identifying Lameness in Dairy Cattle*, «Applied engineering in agriculture».

- REILLY M., WILLENBOCKEL D. (2010): *Managing uncertainty: a review of food system scenario analysis and modelling*, «Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences», 365 (1554), pp. 3049-3063.
- ROCHE J. R., FRIGGENS N. C., KAY J. K., FISHER M. W., STAFFORD K. J., BERRY D. P. (2009): *Invited review: Body condition score and its association with dairy cow productivity, health, and welfare*, «Journal of dairy science», 92 (12), pp. 5769-5801.
- SANTUCCI P. M., MAESTRINI O. (1985): *Body conditions of dairy goats in extensive systems of production: method of estimation*, «Annales de Zootechnie» (Vol. 34, No. 4, pp. 473-474), EDP Sciences.
- SAMAD A., MURDESHWAR P., HAMEED Z. (2010): *High-credibility RFID-based animal data recording system suitable for small-holding rural dairy farmers*, «Computers and electronics in agriculture», 73 (2), pp. 213-218.
- SCHIRMANN K., VON KEYSERLINGK M. A., WEARY D. M., VEIRA D. M., HEUWIESER W. (2009): *Technical note: Validation of a system for monitoring rumination in dairy cows*, «Journal of dairy science», 92 (12), pp. 6052-6055.
- SHAO B., XIN H. (2008): *A real-time computer vision assessment and control of thermal comfort for group-housed pigs*, «Computers and electronics in agriculture», 62 (1), pp. 15-21.
- SHAO J., XIN H., HARMON J. D. (1998): *Comparison of image feature extraction for classification of swine thermal comfort behavior*, «Computers and electronics in agriculture», 19 (3), pp. 223-232.
- SHELLEY A. N. (2013): *Monitoring Dairy Cow Feed Intake Using Machine Vision*.
- SHELTON M. (1980): *Goats: influence of various exteroceptive factors on initiation of estrus and ovulation*, «International Goat and Sheep Research», 1 (2), pp. 156-162.
- SONG X., LEROY T., VRANKEN E., MAERTENS W., SONCK B., BERCKMANS D. (2008): *Automatic detection of lameness in dairy cattle—Vision-based trackway analysis in cow's locomotion*, «Computers and electronics in agriculture», 64 (1), pp. 39-44.
- STÖTER M., NIEDERLEIN A., BARSACCHI R., MEYENHOFER F., BRANDL H., BICKLE M. (2013): *CellProfiler and KNIME: open source tools for high content screening*, In *Target Identification and Validation in Drug Discovery* (pp. 105-122), Humana Press.
- STUBSØEN S. M., FLØ A. S., MOE R. O., JANCZAK A. M., SKJERVE E., VALLE P. S., ZANELLA A. J. (2009): *Exploring non-invasive methods to assess pain in sheep*, «Physiology behavior», 98 (5), pp. 640-648.
- SUTHAR V. S., BURFEIND O., PATEL J. S., DHAMI A. J., HEUWIESER W. (2011): *Body temperature around induced estrus in dairy cows*, «Journal of dairy science», 94 (5), pp. 2368-2373.
- TAMAKI K., SUSAWA K., OTANI R., AMANO K., KODERA S. (1993): *Characteristics of cattle voices and the possibility of their discrimination*, «Research Bulletin of the Hokkaido National Agricultural Experiment Station» (Japan).
- THOMPSON J. M., MEYER H. H. (1994): *Body condition scoring of sheep*, Corvallis Or. Oregon State University, Extension Service.
- TUCKER C. B., ROGERS A. R., SCHÜTZ K. E. (2008): *Effect of solar radiation on dairy cattle behaviour, use of shade and body temperature in a pasture-based system*, «Applied Animal Behaviour Science», 109 (2), pp. 141-154.
- VAN HERTEM T., BAHR C., SCHLAGETER TELLO A., VIAZZI S., STEENSELS M., ROMANINI C. E. B., BERCKMANS D. (2015): *Lameness detection in dairy cattle: single predictor v. multivariate analysis of image-based posture processing and behaviour and performance sensing*, «Animal», 1-8.

- VAN HIRTUM A., BERCKMANS D. (2002): *Assessing the sound of cough towards vocality*, «Medical engineering physics», 24 (7), pp. 535-540.
- VIAZZI S., ISMAYILOVA G., OCZAK M., SONODA L. T., FELS M., GUARINO M., BERCKMANS D. (2014): *Image feature extraction for classification of aggressive interactions among pigs*, «Computers and Electronics in Agriculture», 104, pp. 57-62.
- VRANKEN E., CHEDAD A., AERTS J. M., BERCKMANS D. (2005): *Improving the accuracy of automatic broiler weighing by image analysis*, «Precision Livestock Farming», 5, pp. 265-271.
- WALSER E. S. (1980): *Maternal recognition and breed identity in lambs living in a mixed flock of Jacob, Clun Forest and Dalesbred sheep*, «Applied Animal Ethology», 6 (3), pp. 221-231.
- WANG Y., YANG W., WINTER P., WALKER L. (2008): *Walk-through weighing of pigs using machine vision and an artificial neural network*, «Biosystems Engineering», 100 (1), pp. 117-125.
- 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?*, «Computers and Electronics in Agriculture», 64 (1), pp. 2-10.
- WATTS J. M., STOOKEY J. M. (2000): *Vocal behaviour in cattle: the animal's commentary on its biological processes and welfare*, «Applied Animal Behaviour Science», 67 (1), pp. 15-33.
- WEARY D. M., BRAITHWAITE L. A., FRASER D. (1998): *Vocal response to pain in piglets*, «Applied Animal Behaviour Science», 56 (2), pp. 161-172.
- WEBSTER J. (1999): *Il benessere animale*, Ed. agricole, Bologna.
- WHAY H. R., WATERMAN A. E., WEBSTER A. J. F., O'BRIEN J. K. (1998): *The influence of lesion type on the duration of hyperalgesia associated with hindlimb lameness in dairy cattle*, «The veterinary journal», 156 (1), pp. 23-29.
- WHITE J. M., MELLOR D. J., DUZ M., LISCHER C. J., VOUTE L. C. (2008): *Diagnostic accuracy of digital photography and image analysis for the measurement of foot conformation in the horse*, «Equine veterinary journal», 40 (7), pp. 623-628.
- XIN H., SHAO B. (2005): *Real-time Behavior-based Assessment and Control of Swine Thermal Comfort*.