



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO

SCUOLA DI DOTTORATO IN SANITÀ E PRODUZIONI ANIMALI:
SCIENZA, TECNOLOGIA E BIOTECNOLOGIE

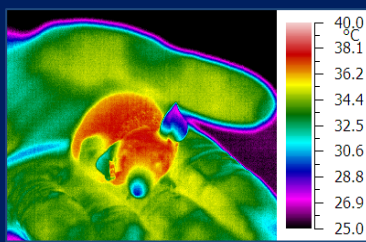
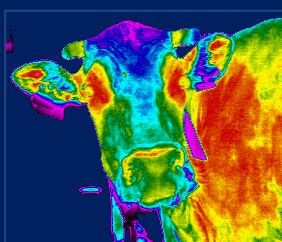
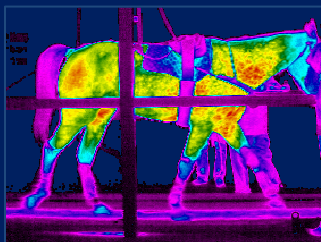
DOTTORATO DI RICERCA IN PRODUZIONI ANIMALI
XXIII Ciclo - Agr. 19

**UTILIZZO DELLA TECNICA TERMOGRAFICA
COME SISTEMA NON INVASIVO
PER LO STUDIO DEL BENESSERE E DELLO
STATO SANITARIO NELLE SPECIE ANIMALI
DI INTERESSE ZOOTECNICO E DA AFFEZIONE**

Tesi di: Dr.ssa Veronica REDAELLI
Matr.: R07755

Docente guida: Prof. Fabio LUZI

Coordinatore: Prof. Matteo G. CROVETTO



Anno accademico 2009/2010



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO

**SCUOLA DI DOTTORATO IN SANITÀ E PRODUZIONI ANIMALI:
SCIENZA, TECNOLOGIA E BIOTECNOLOGIE**

DOTTORATO DI RICERCA IN PRODUZIONI ANIMALI

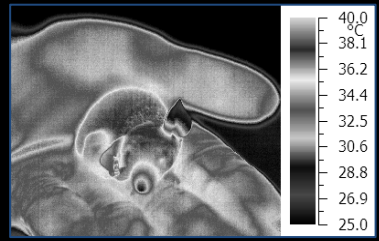
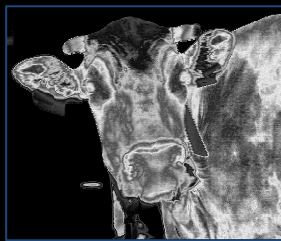
XXIII Ciclo - Agr. 19

**UTILIZZO DELLA TECNICA TERMOGRAFICA
COME SISTEMA NON INVASIVO
PER LO STUDIO DEL BENESSERE E DELLO
STATO SANITARIO NELLE SPECIE ANIMALI
DI INTERESSE ZOOTECNICO E DA AFFEZIONE**

**Tesi di: Dr.ssa Veronica REDAELLI
Matr.: R07755**

Docente guida: Prof. Fabio LUZI

Coordinatore: Prof. Matteo G. CROVETTO



Anno accademico 2009/2010

Indice

Cap.1 – Introduzione	pag. 6
Cap.2 – La tecnica termografica	
2.1 - Principi di funzionamento e caratteristiche della strumentazione	pag. 9
2.2 - Tecniche di registrazione e lettura delle immagini	pag. 22
Cap.3 –La strumentazione utilizzata	
3.1 - Il sistema termovisivo utilizzato	pag. 25
3.2 - Implementazione e ottimizzazione della strumentazione	pag. 27
Cap.4 –Applicazioni	
4.1 - Campi di applicazione della tecnica termografica:	pag. 30
4.2 - Applicazioni in campo biomedico	pag. 33
Cap.5 – Applicazioni in campo diagnostico	
5.1 - Individuazione precoce di patologie podali nelle bovine da latte	pag. 37

Cap.6 – Applicazioni in campo zootecnico

6.1 - Impiego della tecnica termografica durante la molatura dei denti nei suinetti **pag. 50**

6.2 Misura della temperatura cutanea del suinetto durante il trasporto su camion **pag. 64**

Cap.7 – Valutazione del benessere

7.1 Termografia e heart rate variability come parametri non invasivi per il benessere del cavallo atleta **pag. 77**

7.2 – La termografia come tecnica non invasiva per valutare lo stato di benessere nei cani da lavoro **pag. 92**

Cap.8 – Video termografici di cavalli sportivi durante test da sforzo su treadmill ad alta velocità

pag. 106

Cap. 9 – La termografia come tecnica alternativa per la misura della temperatura nel topo nudo

pag. 119

Cap. 10 – Conclusioni e prospettive

pag. 130

Cap. 11 – Bibliografia citata e consultata

pag. 134

Cap. 12 – Ringraziamenti

pag. 157

Cap.1 – Introduzione

La termografia è una tecnica moderna, innovativa e non invasiva per visualizzare il profilo termico di un corpo (Yang & Yang, 1992; Spruyt et al., 1995); il maggior vantaggio di questo metodo è che non richiede un contatto fisico diretto con la superficie oggetto di analisi, permettendo una lettura remota della distribuzione della temperatura (Speakman e Guard 1998).

Diversi articoli presenti nella bibliografia internazionale, testimoniano il particolare interesse esistente nei confronti dello sviluppo in ambito zootecnico di un sistema di misurazione delle temperature a distanza; tali ricerche propongono confronti tra sistemi di misura a distanza, basati sull'infrarosso, e sistemi convenzionali, o con transponder sottocutanei e sono state effettuate su animali sia da laboratorio (Devalle 2005), sia di interesse zootecnico quali pecore e cavalli (Goodwin 1998). La termografia è stata inoltre applicata per valutare la risposta allo stress in alcune ricerche sulla specie cunicola (Ludwig et al., 2007), per verificare i cambiamenti nella circolazione sanguigna che possono causare un aumento o una diminuzione della temperatura superficiale (Harper, 2000), sia nel corso di processi infiammatori, sia in situazioni di stress cronico e/o acuto. E' attualmente utilizzata per la diagnostica delle infiammazioni agli arti dei cavalli (Denoix, 1994; Embaby et al., 2002) e sembra essere di fondamentale importanza per la diagnostica precoce delle mastiti (Stewart et al. 2005).

Per quanto riguarda lo stato della ricerca in Italia in questo ambito, il Dipartimento di Scienze Animali dell'Università degli Studi di Milano sta sviluppando già da alcuni anni diversi protocolli di ricerca con particolare attenzione alle metodiche non invasive che permettono una misura oggettiva delle condizioni di stress e dello stato di benessere negli animali da reddito e da affezione. Tra queste è stata sviluppata particolarmente la tecnica termografica, con la formazione di un gruppo di lavoro dedicato e l'acquisto di strumentazione all'avanguardia.

In particolare, in collaborazione con il Dipartimento di Fisica dell'Università degli Studi di Milano sono stati ottenuti risultati nella valutazione della risposta allo stress nella specie cunicola (Ludwig et al., 2007). I principali problemi nella misurazione di tali temperature con i metodi attuali, sono associati alla difficoltà di registrare i dati senza indurre ulteriori stress dovuti alla manipolazione degli animali da parte dell'uomo; la tecnica termografica permetterebbe di monitorare a distanza la distribuzione termica di un corpo e le sue variazioni, senza interagire con esso.

Scopo della presente tesi di dottorato di ricerca è la messa a punto di un sistema di misurazione a distanza mediante termografia della temperatura periferica di animali sia da reddito che da affezione, al fine di verificare la possibilità di ottenere una valutazione oggettiva di eventuali condizioni di stress e/o malessere, in relazione al loro stato sanitario e alle condizioni ambientali.

In particolare si cercherà di definire le zone della cute ottimali per la misura della temperatura attraverso il metodo termografico, tenendo in considerazione le diverse specie e le differenti patologie

in analisi, oltre a definire quali siano i metodi realmente applicabili sul campo e le condizioni in cui sia possibile e utile la misura delle variazioni della temperatura mediante termocamera ad infrarossi.

Gli ambiti di indagine per la ricerca qui presentata sono stati scelti tenendo conto dell'effettiva applicabilità dei risultati attesi nella gestione quotidiana degli animali e dell'impatto atteso da tale applicazione in termini sia di benessere per gli animali stessi sia di miglioramento nella gestione e produzione per gli allevatori.

Cap.2 – La tecnica termografica

2.1 - Principi di funzionamento e caratteristiche della strumentazione

La termografia, o termovisione, è un sistema di indagine non invasivo, semplice e preciso che fornisce in tempo reale immagini nell'infrarosso di qualsiasi oggetto opaco a tale radiazione, consentendo la misura a distanza della temperatura superficiale dello stesso.

Le immagini sono solitamente rappresentate in scale di falsi colori, nelle quali a un certo colore corrisponde una determinata temperatura e non il colore reale dell'oggetto (Fig.1).

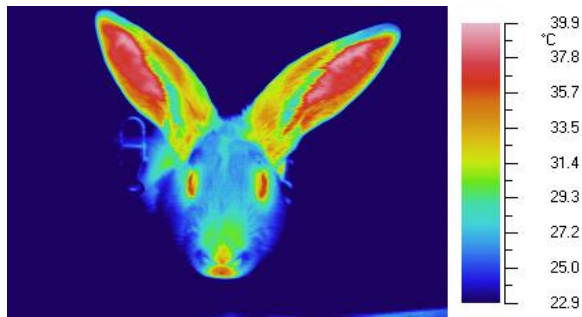


Fig. 1: Immagine termografica della testa di un coniglio (Dipartimento di Fisica – Milano, 2007)

In particolare, la radiazione infrarossa copre quella parte dello spettro elettromagnetico di lunghezza d'onda compresa tra $0,75 \mu\text{m}$ e $1000 \mu\text{m}$ (Fig.2) ed è spontaneamente emessa da tutti i corpi con temperatura superiore allo zero assoluto.

Le lampade a incandescenza, per esempio, producono radiazione nel visibile e nel vicino infrarosso riscaldando fino all'incandescenza un filamento di tungsteno; il sole invece è assimilabile a una grande sfera di gas surriscaldati, la cui superficie esterna ha una temperatura di circa 6000 Kelvin, che corrisponde all'illuminazione diurna di cui godiamo sulla Terra. Infine, anche i corpi più freddi emettono radiazione, che però non è visibile all'occhio umano; in particolare, tutti gli oggetti a temperatura ambiente, circa 300 Kelvin, emettono la loro energia in una banda dello spettro elettromagnetico detta lontano infrarosso (λ tra $8 \mu\text{m}$ e $14 \mu\text{m}$).

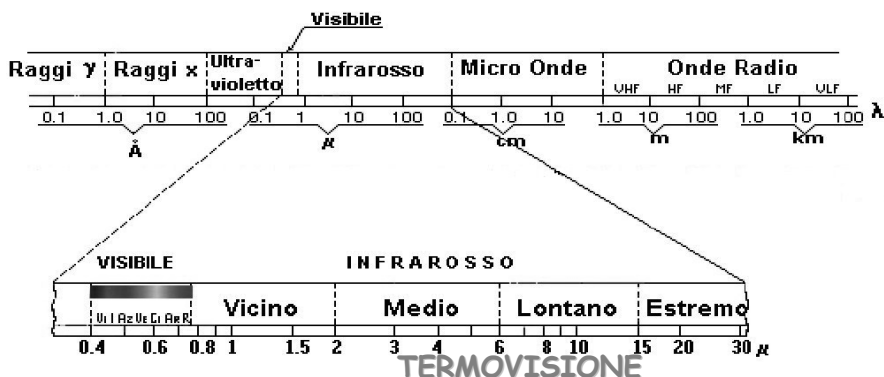


Fig.2: Spettro elettromagnetico (Dipartimento di Fisica – Milano, 2007)

Intensità e frequenza della radiazione emessa sono strettamente legate alla temperatura della sorgente e le leggi che ne governano l'emissione sono perfettamente note. Ciò, unito alla disponibilità di rivelatori a stato solido sempre più perfezionati, ha consentito lo sviluppo di una tecnologia ormai normalmente utilizzata in campo industriale e scientifico.

In particolare, è sufficiente rivelare il contenuto di emissione per una banda di lunghezza d'onda prescelta per poter risalire, tramite le leggi di Wien e Stefan-Boltzman (2.1), alla temperatura del corpo da cui la radiazione proviene. Infatti, Un risultato notevole ottenuto dai fisici Stefan e Boltzmann agli inizi del XX secolo ha stabilito la relazione che esiste fra quantità di energia emessa da un corpo e sua temperatura: l'energia espressa in termini di potenza per unità di superficie è proporzionale alla quarta potenza della temperatura assoluta secondo la legge di emissione di corpo nero:

$$E = \text{costante } T^4 \quad (2.1)$$

Inoltre, la legge di Wien stabilisce come la temperatura degli oggetti determini in modo univoco la regione dello spettro elettromagnetico dove si ha la massima emissione di radiazione (2.2):

$$\lambda_{\max} T = \text{costante} \quad (2.2)$$

In Fig. 3 è riportato il grafico che rappresenta l'intensità di energia al variare della lunghezza d'onda emessa da corpi a differente temperatura, detti spettri di emissione di corpo nero. Si può notare che il picco di massima emissione (corrispondente al massimo di ogni curva) non è posizionato sempre alla stessa lunghezza d'onda ma, all'aumentare della temperatura, si sposta verso la sinistra del grafico, cioè verso lunghezze d'onda più corte. Quindi, un materiale surriscaldato a circa 3000 K ha un massimo di emissione nella zona del vicino infrarosso a 1 micrometro, mentre oggetti a temperatura ambiente (intorno a 300 K, corrispondenti a 23 °C) hanno il corrispondente picco di emissione a 10 micrometri, cioè nel lontano infrarosso.

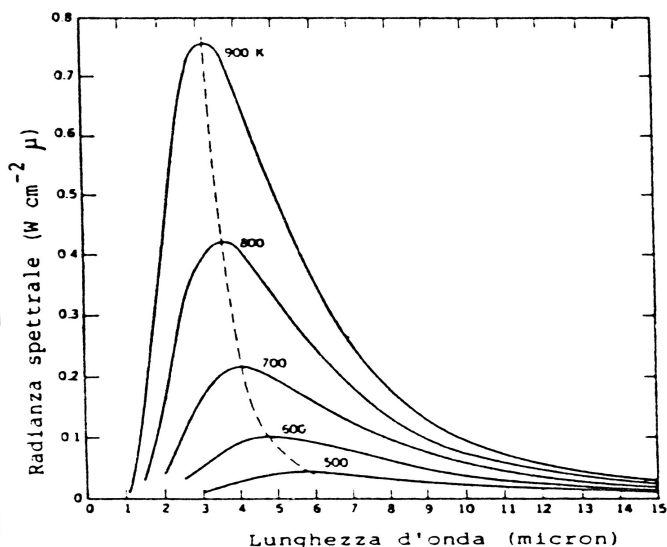


Fig. 3: Curve di emissione spettrale per corpi neri a diverse temperature, (Dipartimento di Fisica – Milano, 2007)

Utilizzando questo procedimento, le termocamere moderne forniscono in tempo reale un'immagine termica della scena ripresa così accurata (+/- centesimi di grado) da poter scorgere i più piccoli particolari.

La termo camera è molto simile ad una telecamera ma è dotata, però, di ottiche per infrarosso al posto degli elementi ottici comunemente usati per riprese nel visibile. In questo senso le ottiche in vetro non sono adatte allo scopo, poiché hanno un'elevata assorbanza nelle lunghezze d'onda tipiche dell'infrarosso (Fig.4); al contrario viene generalmente usato il germanio.

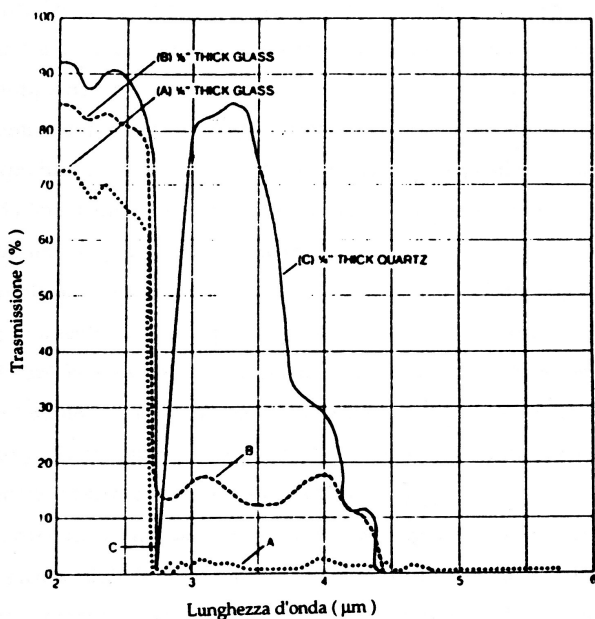


Fig. 4: Spettro di assorbimento nell'infrarosso per diversi spessori di vetro e quarzo. Si osservi che ad esempio tra $3\mu\text{m}$ e $5\mu\text{m}$ il vetro ha trasmissione praticamente nulla.

Uno dei fattori primari che rendono possibile l'impiego della tecnica termografica, è la trasparenza atmosferica alla radiazione infrarossa: In Fig.5 è mostrata la trasparenza dell'atmosfera terrestre a diversi tipi di radiazione. Le zone trasparenti (in bianco) sono dette finestre atmosferiche; le zone scure sono invece porzioni di spettro in cui l'atmosfera è parzialmente o totalmente opaca al passaggio di radiazioni, a causa della presenza di alcune specie molecolari che assorbono in maniera selettiva alcune lunghezze d'onda; è il caso ad esempio della molecola di acqua, che assorbe in particolare la radiazione con lunghezza d'onda nel vicino infrarosso.

Nel grafico si notano principalmente tre finestre: la prima nella parte dello spettro visibile, la seconda nel medio infrarosso (3-5 μm) e la terza nel lontano infrarosso (8-14 μm); la presenza di queste bande di trasparenza atmosferica ha determinato la direzione dell'evoluzione tecnologica che consente oggi di rilevare la radiazione infrarossa.

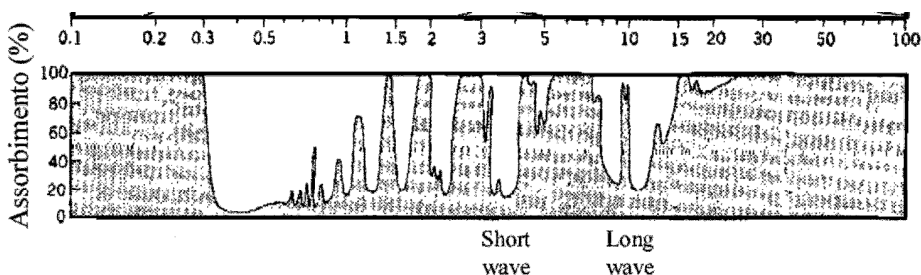


Figura 5: Bande di assorbimento dell'atmosfera terrestre: in ascissa la lunghezza d'onda in μm (Peixoto, J.P., Oort, A.H., 1992)

Il rivelatore della termocamera, su cui la radiazione IR viene focalizzata, ha lo scopo di trasformare l'energia incidente in un segnale elettrico da fornire al circuito di amplificazione e lettura. Il segnale in uscita dal rivelatore viene amplificato e convertito da analogico a digitale mediante un circuito elettronico ed inviato ad un sistema computerizzato che visualizza l'immagine su video e fornisce la possibilità di elaborare i dati raccolti.

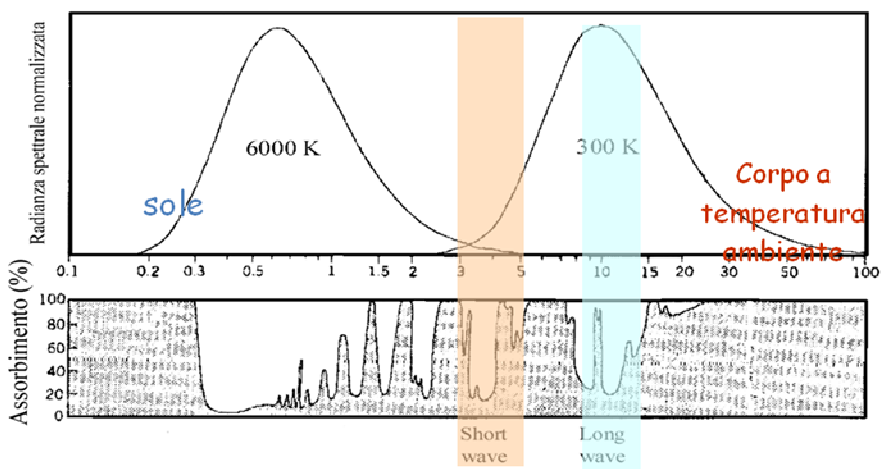


Fig. 6: Bande spettrali delle differenti tipologie degli apparecchi termovisivi (Dipartimento di Fisica – Milano, 2007)

La principale distinzione tra le differenti tipologie di apparecchi termovisivi risiede nella banda spettrale utilizzata (Fig. 6); in

particolare con il termine Short-Wave (SW) si indicano in genere sistemi basati su rivelatori a stato solido estremamente sensibili, che operano nella banda spettrale 3-5 μm in cui la quantità di radiazione emessa da un corpo a temperatura ambiente è però minima. Invece, nelle termocamere Long Wave (LW: 8-14 μm), dove sono impiegati i rivelatori microbolometrici (Fig. 7), la minor sensibilità dei sistemi di rilevazione è compensata dalla maggior quantità di energia disponibile e dall'assenza di radiazione solare di disturbo (Maldague, 1993).

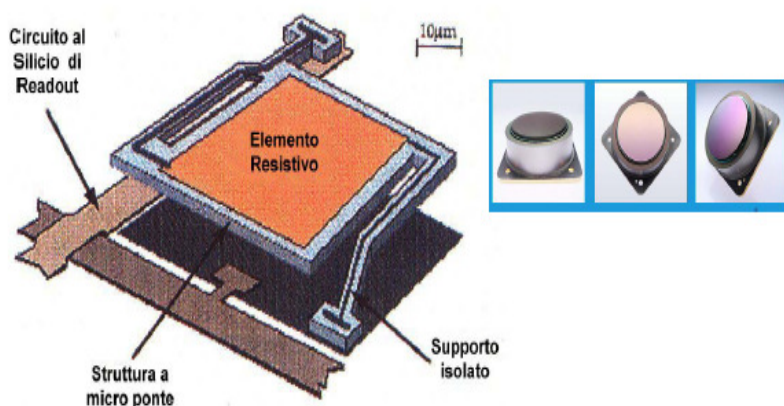


Fig. 7: sensore di tipo microbolometrico a matrice piana 320x240 (Inprotec Spa – Cinisello Balsamo)

Questi ultimi dispositivi (microbolometri non raffreddati long-wave) sono quindi i più impiegati per misure su animali in esterno. Inoltre, l'utilizzo di rivelatori a stato solido richiede il raffreddamento del sensore per mantenere un basso rumore di fondo e migliorare la resa. Tale raffreddamento può avvenire con azoto liquido o per effetto Joule-Thompson con espansione di gas argon sotto pressione, o per effetto Peltier con utilizzo di termocoppia, portando ad un aumento degli ingombri e a una diminuzione di robustezza e semplicità dell'apparecchiatura.

Per quanto riguarda la capacità di distinguere i dettagli dell'immagine ripresa, una moderna termocamera con rivelatore microbolometrico da 320x240 pixel e un'ottica standard di 35 mm consentono una risoluzione spaziale dell'ordine del centimetro a una distanza di 10 metri. Sono anche disponibili lenti addizionali, come lenti grandangolari, teleobiettivi, ottiche macro, ecc... . La caratteristica tecnica che esprime questa capacità di una termocamera è la risoluzione spaziale, solitamente espressa in milliradiani: ad esempio un sistema termovisivo con una risoluzione spaziale di 1.4 mrad è in grado di distinguere due punti lontani 1.4 mm alla distanza di un metro.

Per ottenere misure corrette, è importante notare che la mappa termica fornita da una termocamera è fortemente influenzata dall'emissività degli oggetti ripresi, infatti, nella realtà, i corpi sono caratterizzati da un comportamento diverso da quello ideale di un corpo nero (Fig. 8); ne segue che oggetti alla stessa temperatura possono apparire diversi se hanno emissività diverse e che tutti i valori ricavati dalla misura andranno corretti in base alle diverse emissività degli oggetti ripresi.

Il diverso grado di somiglianza di un corpo reale al corpo nero viene indicato proprio dal coefficiente denominato “emissività spettrale” (ϵ_λ) (2.3), definito come il rapporto fra l’energia emessa da un determinato corpo a una generica temperatura T^* e l’energia che emetterebbe un corpo nero ideale alla stessa temperatura:

$$\epsilon_\lambda = \frac{W(T^*)}{W_{\text{corponero}}(T^*)} \quad (2.3)$$

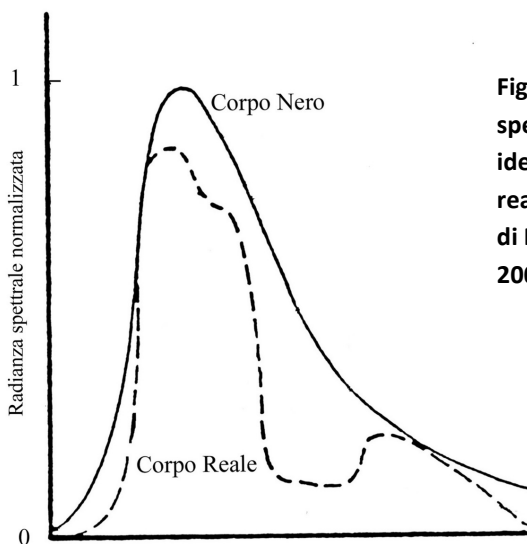


Fig. 8: Confronto fra gli spettri di un corpo nero ideale e di un corpo reale. (Dipartimento di Fisica – Milano, 2007)

Si può stabilire una facile regola per determinare con buona approssimazione il comportamento di un oggetto in termini di emissione di energia radiante: un comportamento da emettitore efficiente corrisponde a una bassa capacità di riflettere e viceversa; alla prima categoria appartengono in generale la maggior parte dei materiali propri della chimica organica e i materiali amorfi, mentre alla seconda appartengono in particolare i metalli.

Ciò risulta vero poiché, detto R il fattore di riflessione spettrale (o riflettanza), cioè la percentuale di energia che viene riflessa rispetto a quella incidente sulla superficie di un corpo, e α l'assorbanza spettrale (cioè la percentuale di radiazione che viene assorbita dal corpo), si ha che all'equilibrio termico fra oggetto e ambiente circostante $\alpha = \varepsilon$ e, per il principio di conservazione dell'energia, si può scrivere $\varepsilon = 1 - R$, quindi i due valori ε e R sono complementari.

È importante notare che nei tessuti animali la grande concentrazione di acqua rende l'emissività estremamente elevata (tra 0,80 e 0,98), quindi la presenza di radiazione riflessa influisce poco sulla lettura dell'immagine. Diversamente, nell'analisi di manufatti metallici o nel caso di particolari materiali cheratinici (scaglie, lische, unghie, ecc...), spesso nell'immagine termica, l'energia ambientale riflessa si mescola al segnale reale emesso dalla superficie in esame, fornendo sia indicazioni erronee di temperature sia percezioni di anomalie termiche inesistenti (Fig. 9).

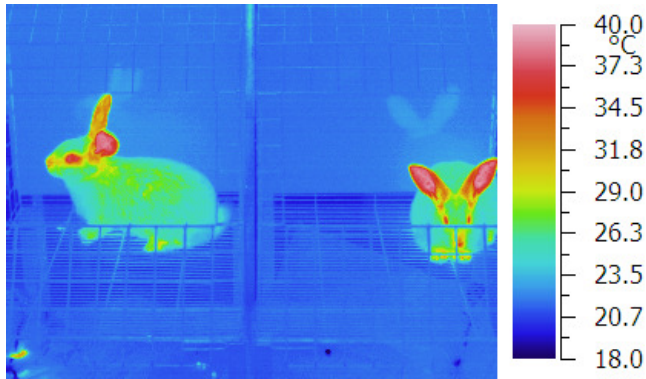


Fig. 9: I due conigli parzialmente visibili sullo sfondo sono artefatti dovuti alla bassa emissività e quindi alla alta riflettanza del metallo di cui è costituita la gabbia. (Dipartimento di Scienze Animali – Università degli Studi di Milano, 2007)

Tenendo conto della curva di risposta del sensore nell'intervallo termico selezionato e sfruttando al seguente relazione:

$$\sigma T_{tvs}^4 = \varepsilon \sigma T^4 + (1-\varepsilon) \varepsilon^{amb} \sigma T_{amb}^4 \quad (2.4)$$

dove :

- T_{tvs} è la temperatura T del corpo letta dalla termocamera
- ε è l'emissività della superficie ripresa

- $\epsilon_{\text{amb}} \sigma T_{\text{amb}}^4$ è l'energia irraggiata dall'ambiente (dove ragionevolmente $\epsilon_{\text{ambientale}} = 1$) alla temperatura in cui è effettuata la misura, che è in genere rilevata con una termocoppia integrata alla termocamera

le termocamere moderne forniscono già, una volta impostato il valore di ϵ sulla macchina, la T corretta della superficie in analisi.

Cap.2 – La tecnica termografica

2.2 - Tecniche di registrazione e lettura delle immagini

Peculiarità della tecnica termografica è la rappresentazione dei risultati in forma di immagini digitali, cioè in forma di mappa termica, successivamente modificabile secondo le esigenze mediante l'uso di programmi di elaborazione dell'immagine. Un'immagine in infrarosso termico è rappresentata sempre all'origine in toni di grigio, corrispondenti alle diverse intensità di radiazione provenienti dai diversi punti dell'oggetto inquadrato; le rappresentazioni in "falsi colori" che si ottengono associando a ogni livello di grigio un determinato colore, sono artifici che servono a meglio evidenziare taluni fenomeni svincolati dal reale aspetto dell'animale inquadrato.

A titolo di esempio, in Fig. 9 è rappresentata la termografia di un coniglio: sulla destra dell'immagine una scala di colori e di temperature permette di associare ai diversi colori la rispettiva temperatura. Il fondo è viola perché caratterizzato da una temperatura prossima a 26°C, come riportato nella scala; la pelliccia del coniglio appare con una temperatura di poco superiore a quella dell'ambiente circostante, a testimonianza del suo isolamento termico, che non permette al calore di uscire dal corpo. Alcune parti di naso, orecchie e occhi, privi di pelo, sono le uniche zone nelle quali appare possibile leggere correttamente la temperatura dell'animale; nell'orecchio e nell'occhio sono individuabili i dettagli anatomici dovuti alla diversa irrorazione sanguigna.

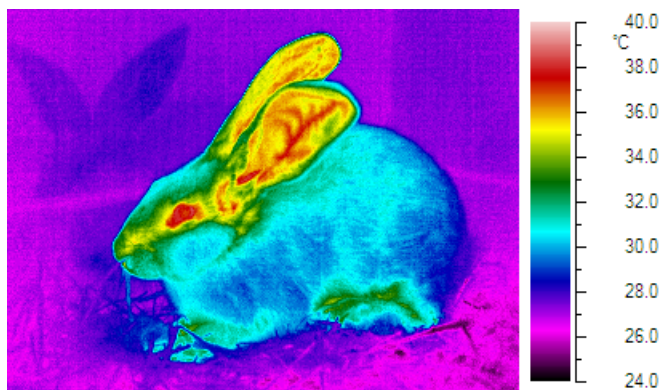


Fig. 9: Immagine termografica di un coniglio (Dipartimento di Scienze Animali - Università degli Studi di Milano, 2007)

Non è possibile, in linea di massima, associare in modo univoco a un colore dell'immagine termografica una determinata patologia: è solo nel contesto di una più generale anamnesi della patologia o dello stato dell'animale che la presenza di una "anomalia termica" può essere collegata al corretto fenomeno fisiologico. Scopo delle tecniche d'indagine termografica è proprio quello di ottimizzare le condizioni di osservazione per visualizzare al meglio queste anomalie.

Le tecniche d'ispezione termografica si distinguono in passive e attive; nel primo caso la misura riguarda la temperatura assunta dai corpi considerati come sistemi isolati rispetto all'ambiente circostante. La termografia attiva invece, prende in considerazione

la temperatura raggiunta dai corpi per effetto di una fonte di riscaldamento o raffreddamento esterna, per osservarne in seguito il ritorno alle condizioni di normalità. L'elaborazione di sequenze dinamiche di immagini termiche con appositi algoritmi, consente di ottenere informazioni che la singola termografia passiva non potrebbe evidenziare.

Ogni specie animale, inoltre, presenta delle problematiche tecniche peculiari, dovute alla tipologia dei soggetti (dimensioni, presenza di pelliccia, caratteristiche comportamentali, tipo di stabulazione, etc.), che possono condizionare la buona riuscita delle misure e che non permettono la definizione di una tecnica operativa standard utilizzabile in tutti i casi; spesso, solo l'esperienza e la conoscenza della specie in analisi permettono di individuare le soluzioni migliori e per adattare il metodo alle specifiche necessità.

Cap.3 –La strumentazione utilizzata

3.1 - Il sistema termovisivo utilizzato

I rilievi presentati in questa ricerca sono stati effettuati con due termocamere, modello AVIO TVS 500, con sensore microbolometrico non raffreddato di 320x240 pixel che consente di ottenere immagini con elevata risoluzione anche a distanza. Le caratteristiche tecniche delle due termo camere sono riportate di seguito (Fig. 10 e Fig.11).

Fig. 10: Termocamera AVIO TVS500 (Inprotec Spa – Cinisello Balsamo)



Measurement range	-40~500°C:Standard ~2000°C (with optional high temperature filter)
Temperature resolution	Better than 0.05°C with Averaging
Accuracy	±2°C or ±2% ※1
Frame time	1/60 seconds
Detector	Uncooled FPA, 320(H) x 240(V) VOx microbolometer
Wavelength	8~14μm
FOV	19.4°(H)x14.6°(V) (with standard 22mm lens)
Spatial resolution	1.07mrad
Measurement distance	30cm~ ∞
Effective pixels	320(H)x240(V)
Display	3.5" semi-transmissive color LCD monitor, Inverted display
Visible camera	640x480
Temperature unit	°C/°F/°K
Video output	NTSC or PAL
PC interface	RS-232C, USB, IEEE1394(option) ※2
Power	Battery (Li-ion), AC adapter, Long life battery (option)
Power consumption	14W
Battery run time	Approx 2H, approx 4H (when using optional long life battery)
Operational temperature/humidity	-10~50°C/RH80% or less (no condensation)
Dimensions	140(H)x140(W)x226(D)mm including protrusions
Weight	1.9Kg (without battery)
Environmental protection	IP54
Shock	30G JISC0041/IEC60068-2-27
Vibration	3G JISC0040/IEC60068-2-6

Fig. 11: Principali caratteristiche tecniche della termocamera AVIO TVS500 (Inprotec Spa – Cinisello Balsamo)

Cap.3 –La strumentazione utilizzata

3.2 Implementazione e ottimizzazione della strumentazione

Le termocamere sono state interfacciate a un personal computer di dimensioni estremamente ridotte, tanto da poter essere indossato da chi effettua le misure termografiche, per permetterne il controllo remoto e la registrazione dei dati, oltre che in forma di immagini anche in forma di video.

Quindi, la prima parte della ricerca è stata focalizzata sull'organizzare ed implementare la strumentazione in possesso e la procedura di indagine, passando dalla registrazione di singole immagini termografiche alla realizzazioni di veri e propri video termografici. In questo modo si è praticamente annullata la necessità di interazione con l'animale (rendendo così il sistema veramente non invasivo) risolvendo alcuni problemi pratici di registrazione dovuti al movimento degli animali e si è aumentata notevolmente la quantità di informazioni ottenibili a parità di tempi di indagine.

Per arrivare a questo risultato è stato inoltre necessario l'utilizzo di opportuni software di acquisizione e la disponibilità di dischi esterni aggiuntivi, per la memorizzazione delle nuove informazioni ottenute (Fig.12).

Sono stati utilizzati alcuni software dedicati per l'acquisizione, la gestione e l'analisi di immagini termografiche: in particolare, il software Goratec Thermography Suite per l'analisi e la gestione, e i software TVS500 ThermoController e ThermoMovieEditor per l'acquisizione dei termogrammi. Maggiori informazioni sulle modalità di acquisizione e gestione delle immagini saranno fornite nei capitoli relativi alle singole ricerche, poiché esse possono variare in funzione della specie animale in analisi e della situazione ambientale.

I rilievi ambientali, relativi a temperatura e umidità relativa dell'aria, se non diversamente specificato sono stati effettuati con Data Logger Gemini Tinytag Ultra2 (-25 to 85 °C, 0 to 95 % RH).

In alcune ricerche sono stati utilizzati stativi e custodie protettive (Fig. 13) per permettere l'acquisizione di dati anche in condizioni difficili, come quelle che si trovano tipicamente in ambito zootecnico (sporco, umidità, presenza di animali, etc...).

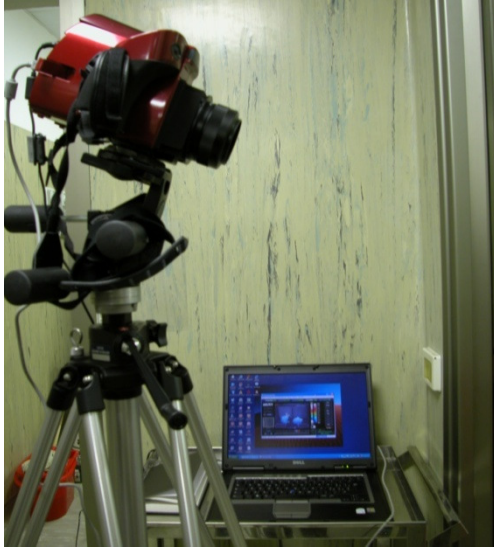


Fig. 12: Termocamera AVIO TVS500 montata su stativo e collegata a pc per l'acquisizione di video termografici (Dipartimento di Scienze Animali - Università degli Studi di Milano , 2008)



Fig. 13: Particolare della staffa e della custodia protettiva utilizzate durante le prove di trasporto su camion (Dipartimento di Scienze Animali - Università degli Studi di Milano, 2010)

Cap.4 –Applicazioni

4.1 - Campi di applicazione della tecnica termografica

Consentendo la misura a distanza di temperature comprese in un ampio range ($-300^{\circ}\text{C}/ 900^{\circ}\text{C}$), la termovisione è normalmente utilizzata per il controllo di tutti quei processi che non permettono l'avvicinamento; è il caso, ad esempio, dei processi di fusione e raffreddamento nell'industria siderurgica.

Inoltre, la risoluzione di un termogramma può essere talmente elevata ($\pm 0,01^{\circ}\text{C}$) da permettere l'individuazione precoce di danni, alteranti le proprietà termiche, di qualsiasi macchina o materiale; viene quindi utilizzata per la prevenzione di incidenti e rotture in quadri elettrici, apparati industriali, condutture, etc... (Fig.14 e Fig.15).

In ambito archeometrico, la termografia è attualmente utilizzata per la ricerca di strutture nascoste alla vista, come travi, riempimenti di materiale diverso da quello originario, opere di restauro, oppure per la diagnostica di infiltrazioni di umidità. In particolare, la termografia consente di individuare le zone umide soggette a traspirazione come zone più fredde, a causa del calore ceduto dall'acqua nella transizione dalla fase liquida a quella di vapore. Infatti, l'energia associata a questa trasformazione (calore latente di evaporazione) è ingente (540 calorie per ogni grammo di acqua evaporata) se paragonata agli altri processi di scambio energetico che possono naturalmente interessare una superficie muraria (non esposta ai

raggi diretti del sole). Poiché il flusso evaporativo è responsabile del trasporto e del deposito di sali alla superficie di una muratura (efflorescenze e subflorescenze), la termografia permette di ottenere una mappatura delle zone maggiormente a rischio di degrado (Fig.16).

Per quanto riguarda l'individuazione di strutture murarie non riscontrabili dall'esame a vista, una termocamera è in grado di evidenziare le diverse risposte in temperatura causate da differenze di conducibilità e di capacità termiche tra materiali posti all'interno delle pareti. Per questo tipo di indagine è solitamente necessaria una sollecitazione termica, almeno quando la muratura è in condizioni di equilibrio termico, ossia quando i suoi materiali costituenti si trovano alla medesima temperatura.

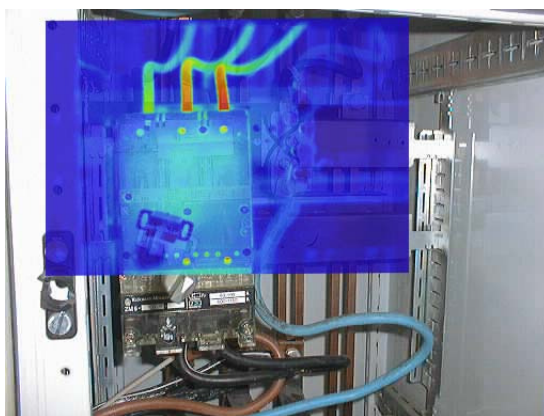


Fig. 14: Esempio di termografia su quadro elettrico (Inprotec Spa – Cinisello Balsamo)

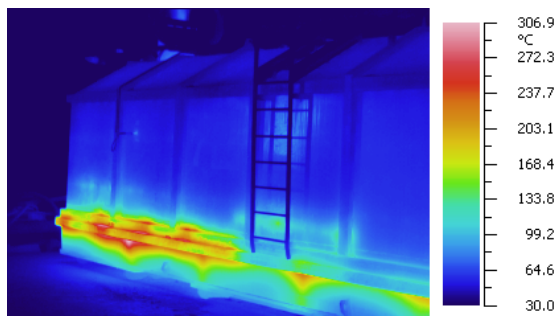


Fig. 15: Esempio di termografia sulla per il rilievo dei difetti di isolamento in un forno (Inprotec Spa – Cinisello Balsamo)



Fig. 16: Esempio di termografia su un edificio storico per la valutazione dello stato di conservazione (Inprotec Spa – Cinisello Balsamo)

Cap.4 –Applicazioni

4.2 - Applicazioni in campo biomedico

In ambito biomedico l'applicazione della termografia a infrarossi è relativamente recente; essa è considerata una metodica di imaging non invasiva, in quanto non causa alcun danno né al paziente né all'operatore poiché, come abbiamo visto, non utilizza sostanze radioattive, ultrasuoni o radiazioni penetranti. La termografia fornisce informazioni sulla localizzazione dell'area patologica e informazioni di carattere fisiologico, ma in genere non anatomico, e non è in grado di fornire informazioni sull'eziologia della patologia in esame. Essa può però fornire un'immagine dinamica in tempo reale della parte in esame, rilevandone i cambiamenti nel corso del tempo.

Le patologie per le quali la tecnica termografica si rivela particolarmente utile sono soprattutto quelle che portano ad alterazioni nel normale controllo della temperatura corporea, come ad esempio variazioni del microcircolo, infiammazioni, traumi, flogosi, alterazioni del metabolismo e dei sistemi di termoregolazione. È una tecnica con notevoli potenzialità, soprattutto dove sono disponibili modelli fisico-matematici dei processi termici dell'organismo. È inoltre particolarmente utile nel controllo della risposta ad alcune terapie senza interferire con esse.

In particolare, ad oggi sono stati condotti studi principalmente nel campo degli animali da reddito (Nikkhah et al., 2005; Berry et al., 2003; Tessier et al., 2003; Knizkova et al., 2002, 2007; Scott et al., 2000; Xin, 1999; Gerken e Barow, 1998; Tong et al., 1995) e dell'ippatria (Eddy, 2001; Weil, 1998; Turner, 1991); Hurnik, Webster e DeBoer studiarono già a partire nel 1984 come poter utilizzare la termografia per individuare l'estro nelle vacche, esaminando l'incremento di temperatura nella regione perineale. Negli ultimi anni sta crescendo inoltre l'utilizzo degli infrarossi da parte degli zoologi, sia nella banda del vicino infrarosso che di quello lontano, per osservare gli animali anche durante gli spostamenti notturni e per effettuarne il censimento nei parchi nazionali.

Un aspetto importante di questa tecnica, che ha un forte impatto sul benessere dell'animale, è il suo carattere preventivo: essa è in grado di evidenziare alterazioni che non hanno ancora dato segni clinici in soggetti apparentemente sani. Ad esempio, è in grado di evidenziare la presenza di una maggiore irrorazione sanguigna nel caso delle infiammazioni subcliniche, oppure la presenza di atrofia (aree con circolazione notevolmente ridotta) prima che essa diventi clinicamente evidente. Questa caratteristica è molto utile nel caso degli stati infiammatori a carico del piede in bovini ed equini, dove spesso la zoppia non è associata a un solo problema, ma è dovuta a un insieme di concause e crea effetti secondari, ad esempio asimmetrie e affaticamento di alcune fasce muscolari, individuabili con l'aiuto della termografia (Schaefer et al., 2003; Harper, 2000; Spire et al., 1999).

Particolarmente interessante è la possibilità di utilizzare la termocamera per monitorare l'andamento della temperatura cutanea degli animali durante il trasporto, verificandone l'adattamento a una condizione considerata molto stressante; già dalla fine degli anni ottanta, Schaefer studiò lo stress durante il trasporto di capi bovini e suini: in caso di stress le catecolamine e il cortisolo aumentano la loro concentrazione ematica e ne risulta una risposta metabolica e vasomotoria (generalmente un incremento della temperatura interna e una vasocostrizione periferica) che può essere rilevata tramite la termografia (Schaefer, 1989; Stewart, 2005; Blessing e Seaman, 2003; Vianna e Carrive, 2005). Per quanto riguarda la possibilità di utilizzare la termografia per il controllo di eventuali condizioni di stress, alcune prove sono state eseguite anche sulla specie cunicola (Ludwig et al., 2007

Nel corso degli ultimi anni, la termografia si è dimostrata particolarmente utile nella pratica veterinaria dell'ippiatria (Chiminelli E., 2009), per rilevare le variazioni di temperatura di specifiche parti del cavallo in determinate condizioni fisiche e ambientali, ad esempio per migliorare la gestione del cavallo sportivo (Epp et al., 2006). Come già accennato, la capacità della termografia di rilevare lo sviluppo di una flogosi è stata dimostrata da svariati studi; nello specifico si è visto come questa tecnica sia in grado di evidenziare l'insorgenza di un processo infiammatorio, ad esempio a carico degli elementi dell'apparato muscolo scheletrico, precocemente rispetto all'esame clinico e alle altre tecniche di diagnostica per immagini (Turner TA, 1991). Inoltre, il metodo termografico è risultato efficace anche in applicazioni più specifiche

come la ricerca di sostanze e di pratiche proibite durante lo svolgimento di competizioni equestre, oppure per la diagnosi precoce delle piaghe da gesso e delle dermatiti estive (Kraft e Roberts, 2001; Okumus e Yanmaz, 2007).

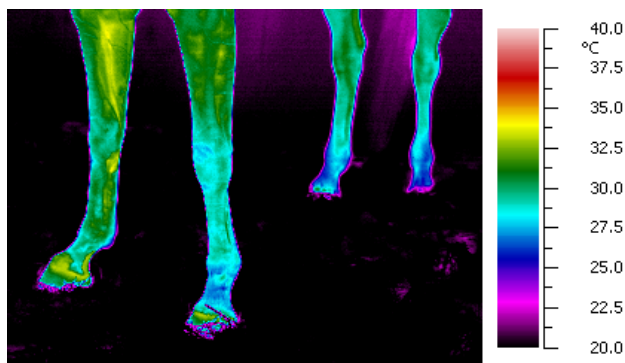


Fig. 17: Immagine termografica degli arti di un cavallo: e visibile una infiammazione all'anteriore destro (Dipartimento di Scienze Animali - Università degli Studi di Milano, 2009)

Cap.5 – Applicazioni in campo diagnostico

5.1 - Individuazione precoce di patologie podali nelle bovine da latte

Contesto

L'ipofertilità, le mastiti e le patologie podali sono le tre principali patologie presenti negli allevamenti di bovine da latte (Sgoifo Rossi et al. 2010). Le patologie podali in particolare, oltre a ridurre notevolmente il benessere dell'animale (Webster, 1995), rappresentano il 40% delle spese totali dovute a eventi patologici che si verificano in una Azienda lombarda tipica (Sgoifo Rossi et al. 2010). Un approccio razionale alla gestione dell'allevamento e la riduzione dei costi che penalizzano il bilancio aziendale, sono diventati fattori fondamentali per le Aziende agricole, in particolar modo alla luce del periodo critico che sta attraversando il settore zootecnico italiano. Ma, al contrario delle mastiti e dell'ipofertilità per le quali esistono metodi diagnostici che permettono una diagnosi precoce o almeno l'evidenziazione di forme subcliniche della malattia (Zecconi et al., 2009; Bertoni G., 2003), le patologie podali sono riconoscibili solo quando sono clinicamente manifeste, quindi, quando sono già evidenti i danni sia per lo stato sanitario e il benessere dell'animale sia per la sua produttività. Questa situazione porta ad interventi tardivi, prevalentemente con prodotti farmacologici che portano ad una diminuzione della qualità dei prodotti commerciali utilizzati e non garantiscono una guarigione dell'animale. Fino ad ora, mediante le tecniche veterinarie

convenzionali, non è stato possibile sviluppare metodi che permettano una diagnosi precoce di patologia podale.



Fig. 18: Particolare dell'arto di una bovina da latte in arla, durante la visita veterinaria che diagnostica la presenza di patologie podali (Dipartimento di Scienze Animali - Università degli Studi di Milano, 2009)

Scopo della ricerca

Tenuto conto della necessità di avere sistemi di diagnosi precoci ed accurati per le patologie podali, sia per le implicazioni economiche per l’Azienda, sia per il benessere degli animali che si otterrebbero con l’introduzione di tali sistemi nella gestione quotidiana degli allevamenti, il progetto di ricerca si propone di verificare se la tecnica termografica possa essere utilizzata come metodo innovativo e non invasivo nella diagnosi precoce di malattie podali nelle bovine da latte.

Materiali e metodi

Il progetto di ricerca è stato realizzato in collaborazione con il DIPAV (Dipartimento di Patologia Animale, Igiene e Sanità Pubblica Veterinaria – Università degli Studi di Milano) presso l’Azienda Agraria Angelo Menozzi a Landriano, dove un totale di 58 animali, differenti per età e fase di lattazione, sono stati sottoposti a indagine termografica con termocamera AVIO TVS500, mentre erano radunati all’interno della sala di attesa prima della visita veterinaria.

Dopo la rilevazione, gli animali sono stati messi in arla e il veterinario podologo ha eseguito l’intervento di mascalcia diagnosticando la presenza di eventuali patologie.

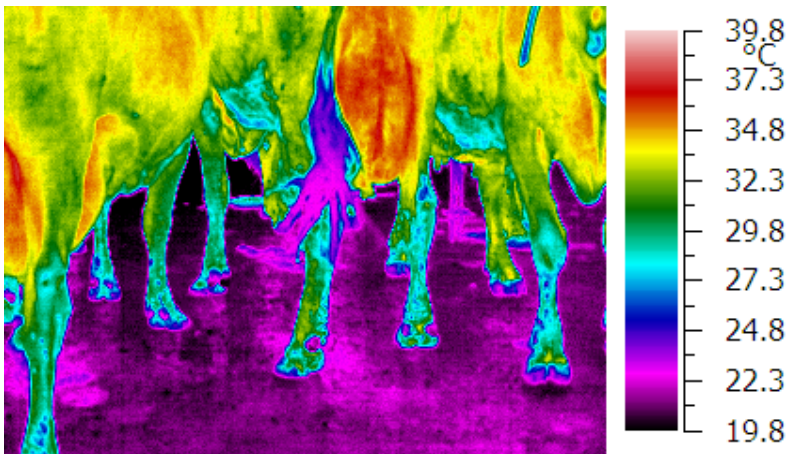


Fig.19: Immagini visibile e termografica delle bovine da latte in sala di attesa (Dipartimento di Scienze Animali – Università degli Studi di Milano, 2008)

Risultati ottenuti

E' stato possibile ottenere la valutazione clinica per 128 arti, che sono stati giudicati dal veterinario podologo come riportato nel grafico seguente:

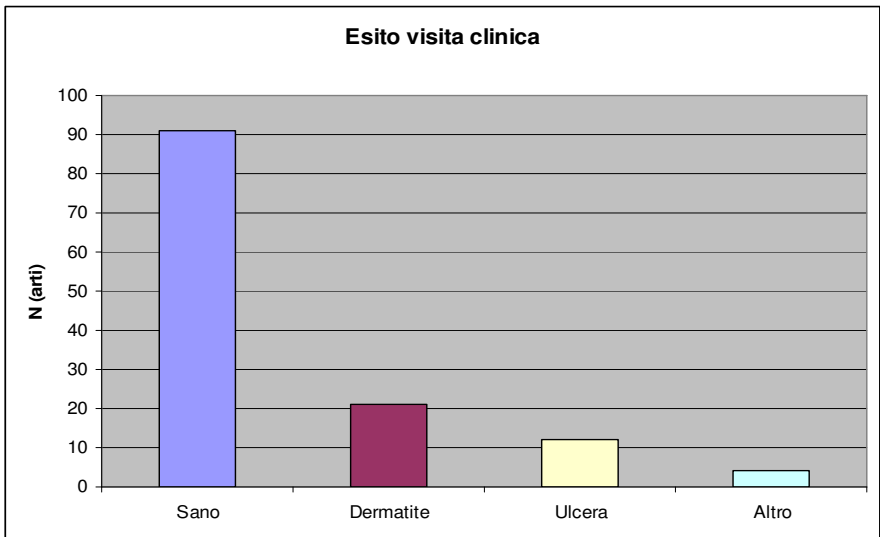


Fig.20: Distribuzione delle patologie riscontrate secondo la valutazione clinica

Per quanto riguarda il rilievo termografico è stato possibile ottenere 230 immagini di arti differenti, giudicati secondo la distribuzione riportata nel grafico seguente.

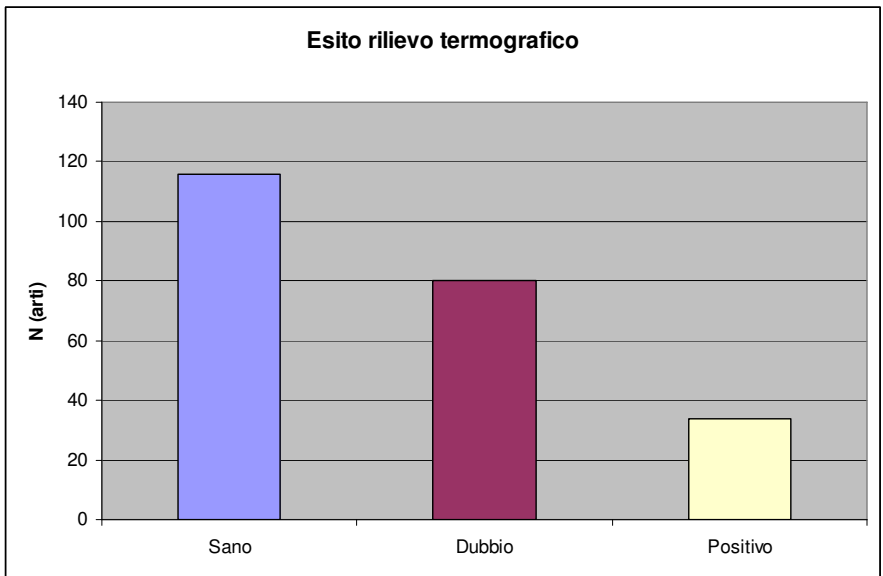


Fig. 21: Distribuzione dei risultati secondo la valutazione termografica

Nella Fig.22 in alto, è riportata l'immagine termografica di una bovina il cui l'arto anteriore destro è stato giudicato positivo, quindi con un problema, secondo l'indagine termografica. Come si può notare l'arto infiammato è caratterizzato da temperature superiori rispetto agli altri. Nelle immagini sottostanti sono visibili arti giudicati rispettivamente sani e dubbi.

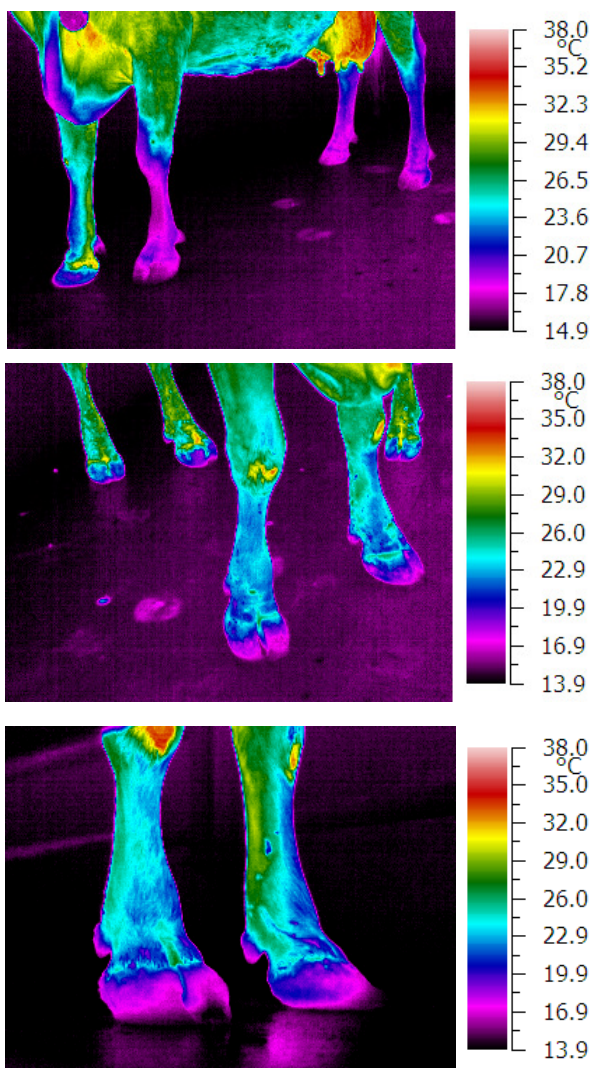


Fig. 22: Immagini termografica di bovine con problemi all'arto anteriore destro (in alto), con arti giudicati sani (al centro) e dubbi (in basso). (Dipartimento di Scienze Animali – Milano, 2008)

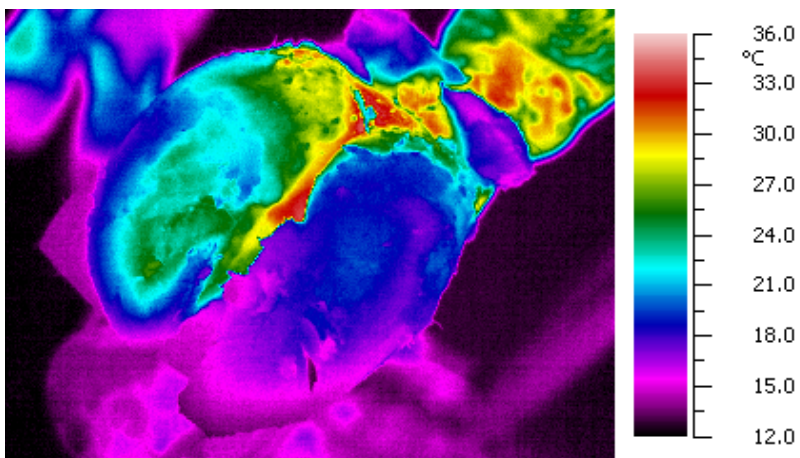


Fig.23: Immagini visibile e termografica di un piede affetto da ulcera della suola. L'unghione problematico risulta visibilmente più caldo in termografia (Dipartimento di Scienze Animali – Università degli Studi di Milano, 2008)

Per 122 arti è stato possibile valutare contemporaneamente il loro stato sia da un punto di vista clinico sia da un punto di vista termografico. Il successivo grafico riporta la distribuzione congiunta dei risultati termografici e clinici dove si è evidenziato che le principali discrepanze erano dovute alla presenza di arti giudicati positivi o dubbi all'esame termografico, ma clinicamente sani alla visita veterinaria.

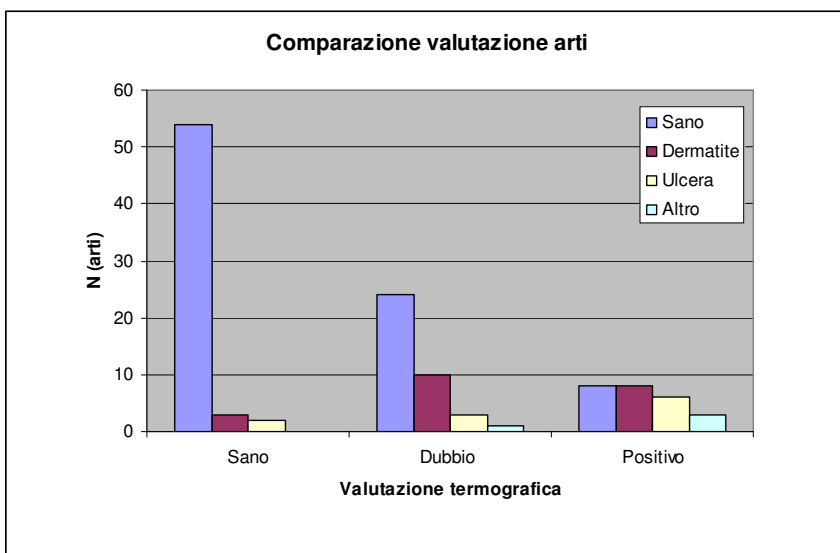


Fig 24: Comparazione delle valutazioni termografiche e cliniche degli arti

Considerando come "positivi" sia i risultati termografici positivi che quelli dubbi e classificando le patologie cliniche osservate in unico

gruppo “malato”, è stato possibile fare una prima valutazione dell’accuratezza della valutazione termografica come test per la presenza di patologie podali, utilizzando le normali procedure epidemiologiche e il software Win Episcopo 2.0.

Tale valutazione indica come 31/36 arti definiti come malati sono stati riconosciuti come positivi dalla valutazione termografica, valore che corrisponde ad una sensibilità del test dell’86% (positivi termocamera/malati). Per quanto riguarda i negativi, 54/86 arti sono stati classificati come negativi sia per quanto riguarda la valutazione clinica sia per quella termografica, valore che corrisponde ad una specificità del 62,7% (negativi termocamera/sani).

Per questo motivo, quando vengono calcolati i relativi valori predittivi, si può evidenziare come un piede definito come negativo da un punto di vista termografico abbia una probabilità del 91,5% di essere sano (valore predittivo negativo), mentre un piede classificato come positivo termograficamente ha una probabilità del 49,2% (positivi e malati/malati) di essere realmente malato dal punto di vista clinico (valore predittivo positivo).

Conclusioni e prospettive

I risultati sono promettenti, poiché l'accordo tra l'esito del rilievo termografico e il giudizio del veterinario sono buoni in presenza di effettive patologie.

Per quanto riguarda i 5 arti non identificati come positivi dalla valutazione termografica, 2 presentavano dermatite, 1 dermatite e malattia della linea bianca, 1 un'ulcera della suola e l'ultimo presentava sia ulcera che dermatite; tale discrepanza non sembra dovuta al tipo di patologia ma all'impossibilità, di riprendere il piede da più angolazioni; la presenza della patologia rimane così in una zona non visibile dalla termocamera.

Si tenga presente che, da un punto di vista operativo, durante lo svolgimento dei rilievi termografici si sono incontrate diverse difficoltà, che avrebbero potuto dare luogo ad errori nella successiva fase di interpretazione delle immagini; prima fra tutte quella di dover operare nel recinto insieme agli animali, che rimangono liberi e in continuo movimento. La messa a fuoco delle immagini risulta impegnativa e non sempre corretta, inoltre, la presenza sulla pavimentazione di acqua e fango può condizionare la correttezza delle misure depositandosi sugli arti degli animali.

Ulteriori ricerche sarebbero invece necessarie per verificare il significato dei "falsi positivi", cioè quei casi segnalati dall'esame termografico ma per i quali il veterinario non ha riscontrato patologie evidenti; probabilmente potrebbero essere attribuiti a affaticamento muscolare o posture non simmetriche, ma sarebbe interessante effettuarne un controllo nel tempo per verificare che essi non sviluppino qualche patologia nelle settimane successive.

Un risultato da segnalare è che la temperatura media rilevata in corrispondenza degli arti posteriori (che sopportano il peso del latte) è risultata superiore rispetto a quella degli arti anteriori; tale risultato è in accordo con la struttura morfofunzionale di questa specie.

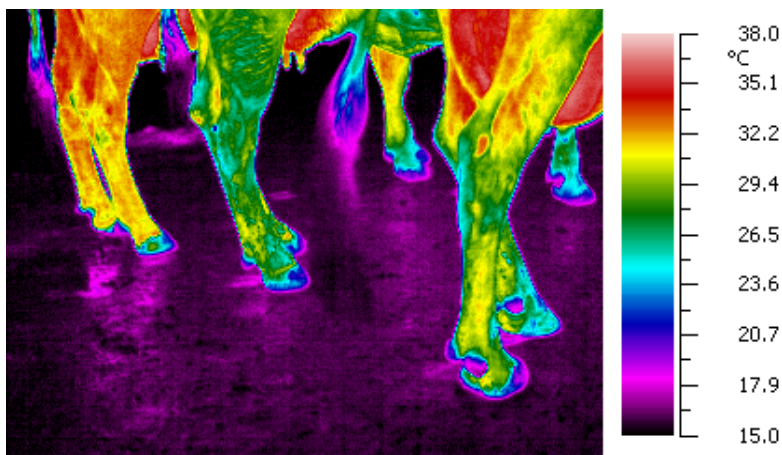


Fig. 25: Immagine termografica di arti posteriori di bovine in sala di attesa: si noti la diversità nelle temperature medie di ciascun animale. (Dipartimento di Scienze Animali – Università degli Studi di Milano, 2008)

Per quanto riguarda i valori di temperatura degli arti in complessivo, sono state rilevate significative differenze individuali (Fig. 25), dovute alla diversa vascolarizzazione dei tessuti e anche alle differenti attività motorie di ciascun animale.

Ulteriori prove andranno svolte in condizioni ambientali differenti, in particolari durante la mungitura, per verificare quale sia la condizione di misura migliore.

Inoltre, la necessità di passare da un risultato sotto forma di immagine, fornita dalla termocamera, a un risultato numerico trattabile statisticamente, porta alla necessità di definire uno score termografico, abbastanza semplice da poter essere assegnato in tempo reale dall'operatore durante la misura, e alla definizione di intervalli di temperatura oggettivi al di sopra dei quali un piede possa essere definito malato.

In base a questa sperimentazione, giudichiamo la messa a punto della termografia come metodica non invasiva in questo settore zootecnico molto positivamente, poiché consentirebbe un miglioramento della situazione sanitaria delle bovine da latte e un aumento della loro produzione, con conseguente riduzione dei costi per l'Azienda. Poiché il rilievo termografico è effettuato con una strumentazione portatile di dimensioni ridotte che può essere controllata in remoto, il metodo sviluppato potrebbe venire inserito in Azienda nella gestione quotidiana degli animali.

Cap.6 – Applicazioni in campo zootecnico

6.1 - Impiego della tecnica termografica durante la molatura dei denti nei suinetti

Contesto

I suinetti hanno otto denti (gli incisivi) con punte molto affilate che possono causare gravi danni ai compagni e alla mammella della scrofa durante l'allattamento (Fig. 26); infatti, la competizione per il miglior capezzolo all'interno della cucciolata è molto violenta già dalla prima ora dopo la nascita. Nelle figure 27, 28, 29 e 30 è possibile vedere ferite causate dai denti, con diversi gradi di gravità.



Fig. 26: Denti di suinetto prima della molatura (Scottish Agricultural College, Edinburgh, 2009)



Fig. 27: Esempio di lesioni di primo grado (graffi singoli e superficiali) (Scottish Agricultural College, Edinburgh, 2009).



Fig. 28: Esempio di lesioni di secondo grado (lesioni che includono gli occhi, con crosta o gonfiore) (Scottish Agricultural College, Edinburgh, 2009).



Fig. 29: Esempio di lesioni di terzo grado (lesioni che includono gli occhi, con crosta o sanguinamenti e che richiedono trattamento antibiotico) (Scottish Agricultural College, Edinburgh, 2009).



Fig. 30: Esempio di lesioni di quarto grado (lesioni come le precedenti con superficie interessata superiore al centimetro quadrato e che richiedono intervento immediato e possono portare all'eutanasia dell'animale) (Scottish Agricultural College, Edinburgh, 2009).

La rimozione delle punte dei denti dei suinetti è una pratica comunemente applicata negli allevamenti commerciali sui suinetti entro 24 ore dalla nascita, per evitare ferite al volto alla cucciolata, che possono diventare talmente estese da portare alla soppressione di alcuni soggetti, e a danni a lungo termine alla mammella della scrofa. (Lewis et al., 2005)

Le ferite sono solitamente maggiori in cucciolate di grandi dimensioni o quando l'offerta di latte dalla scrofa è compromessa da un basso flusso de latte o da una mammella di bassa qualità. La maggior parte delle lesioni facciali sono di piccole dimensioni e tendono a ridursi una volta che l'ordine delle tettarelle sia stato stabilito.

Secondo alcuni esperti, perciò, la pratica del taglio dei denti dei suinetti 'dovrebbe essere rivista; infatti, poiché tale operazione causa un forte dolore negli esseri umani, è probabile che la resezione dei denti, anche quando realizzata attraverso la molatura delle punte invece che usando una pinza, induca un forte dolore anche nei suinetti. (Llamas Moya et al 2006).

Gli studiosi non sono concordi sul fatto che i benefici a posteriori per la cucciolata superino il disagio provocato agli animali al momento della procedura.

Anche il giudizio su quale sia la tecnica migliore, il taglio o la molatura, non è unanime tra gli studiosi e il dibattito è molto acceso, anche se la limatura sembrerebbe provocare meno traumi poiché eventi come fratture, emorragie e ascessi sono di maggiore entità dopo il taglio rispetto alla molatura. (Gallois et al., 2005).

Scopo della ricerca

Poiché non vi sono prove di potenziali ambiti di dolore per i suinetti durante la resezione dei denti (REF) e perché l'attrito causato dalla molatura potrebbe creare un riscaldamento significativo dei denti, riteniamo che sia importante verificare se la tecnica termografica possa essere utilizzata per determinare le temperature raggiunte dai denti e dalla bocca di suinetti durante l'operazione di limatura. Si pensa che tale informazione possa essere un contributo utile alla discussione in atto sui benefici e danni di questa procedura.

Materiali e metodi

Questa prova è stata svolta in collaborazione e presso lo Scottish Agricultural College di Edimburgo. L'operazione di molatura è stata eseguita da uno specialista secondo un protocollo standard che viene usualmente applicato sui suinetti in un intervallo di tempo compreso tra le 16 e le 24 ore dalla nascita. A questa età i suinetti hanno avuto tempo sufficiente per stabilire le prime dominanze, ma sono ancora di dimensioni idonee per essere facilmente manipolati ed eventuali ferite provocate dalle lotte sono ancora numericamente limitate.

Mentre l'operatore eseguiva la limatura secondo gli standard previsti, i maialini sono stati ripresi con termocamera TVS500 da una distanza di circa 40 cm (Fig.31).

Volendo riprendere l'eventuale riscaldamento dovuto alla molatura, che ipotizziamo sia rapido, non è sufficiente realizzare singole immagini poiché si perderebbero la maggior parte delle variazioni di temperatura, ma è necessario effettuare un video termografico con

frame rate il più possibile elevato, compatibilmente con lo spazio a disposizione per la memorizzazione. Considerando l'attrezzatura a nostra disposizione è stato quindi impostato un frame rate di 30 immagini al secondo ed è stato realizzato il video della limatura di 4 maialini, uno di seguito all'altro, in modo da non interferire con la normale velocità di esecuzione dell'operazione.



Fig. 31: Immagini realizzate durante la ripresa termografica dell'operazione di molatura (Scottish Agricultural College, Edinburgh, 2009).

Risultati ottenuti

E' stato realizzato il video termografico della limatura dei denti di 4 maialini, uno di seguito all'altro, per una durata complessiva di circa 7 minuti. Per ciascun termogramma è stato estratto il massimo valore di temperatura rilevato in corrispondenza della bocca dei soggetti. Alcuni esempi dei termogrammi ottenuti sono riportati in Fig. 32., mentre un esempio delle informazioni estratte da essi sono riportate in Fig. 33. Come è possibile notare dalla tabella, per ogni secondo sono riportati ben 30 valori, in accordo con il frame rate scelto in fase di impostazione della strumentazione.

Osservando le immagini si noti come, se l'operazione è correttamente eseguita, l'aumento di temperatura sia limitata unicamente ai denti stessi (in rosso) e non si estenda ad altre parti della bocca (in giallo). Data l'elevata risoluzione geometrica della strumentazione utilizzata e la limitata distanza di ripresa dai soggetti, le misure termiche sono da ritenersi corrette per particolari con dimensioni già a partire da 0,7 millimetri, quindi adeguata per i denti dei maialini.

Come si può notare dal grafico in Fig. 34, che riporta l'andamento delle massime temperature per tutta la sequenza dei 4 soggetti, il valore base di temperatura della bocca dei maialini è di poco inferiore ai 40°C; durante la molatura, i denti raggiungono frequentemente un primo livello di valori con temperature attorno ai 50°C; in alcuni momenti dell'operazione le temperature hanno oltrepassato i 60°C, con punte fino a 90°C. Se si analizzano questi picchi su un intervallo temporale di pochi secondi, come riportato nel grafico in figura 5.9, è possibile notare come la loro durata non sia superiore al secondo (Fig.35).

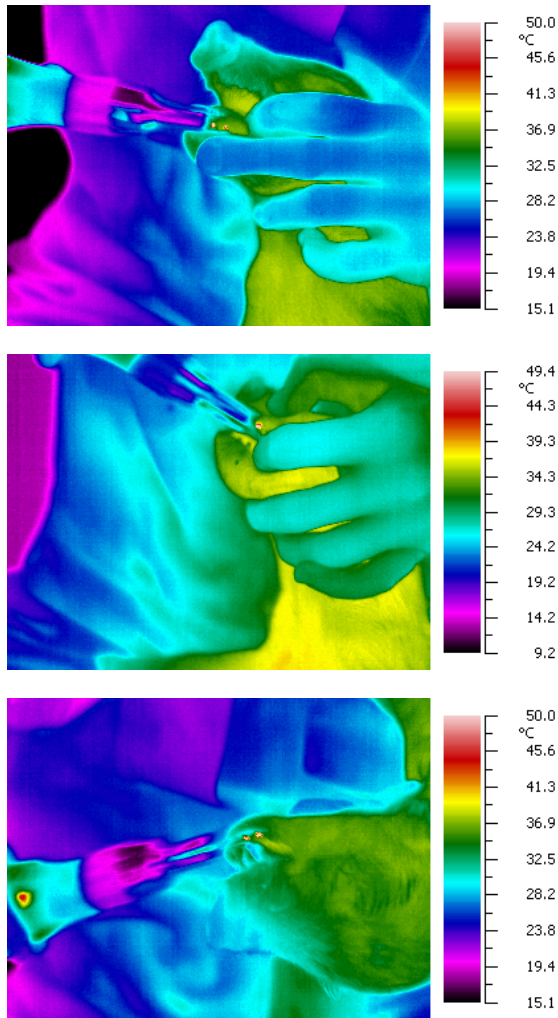


Fig.32: Immagini termografiche esportate dal video realizzato, in cui è possibile notare il riscaldamento dei denti (in rosso-bianco) (Scottish Agricultural College, Edinburgh, 2009).

Immagine	Tempo	Temp. Max (°C)
11	18:00:07	45.9
12	18:00:07	46.3
13	18:00:07	45.9
14	18:00:07	45.7
15	18:00:07	46.4
16	18:00:07	48
17	18:00:07	49.9
18	18:00:07	49.5
19	18:00:07	49.8
20	18:00:07	50.3
21	18:00:07	50.9
22	18:00:07	51.9
23	18:00:07	51.4
24	18:00:07	50.8
25	18:00:07	50.8
26	18:00:07	51.4
27	18:00:07	52.5
28	18:00:07	51.7
29	18:00:07	51.3
30	18:00:07	52.1
31	18:00:07	52.6
32	18:00:07	52.3
33	18:00:07	51.9
34	18:00:07	52.4
35	18:00:07	52.8
36	18:00:07	51.8
37	18:00:07	52.7
38	18:00:07	53
39	18:00:07	53.2
40	18:00:07	53.2
41	18:00:08	52.2
42	18:00:08	52.6
43	18:00:08	52.2
44	18:00:08	49.4
45	18:00:08	50.2
46	18:00:08	52.6
47	18:00:08	52.3
48	18:00:08	52.5
49	18:00:08	50

Fig.33 : Sequenza esempio dei massimi valori di temperatura esportati per ogni termogramma in corrispondenza della bocca dei soggetti

Mouth max value (°C)

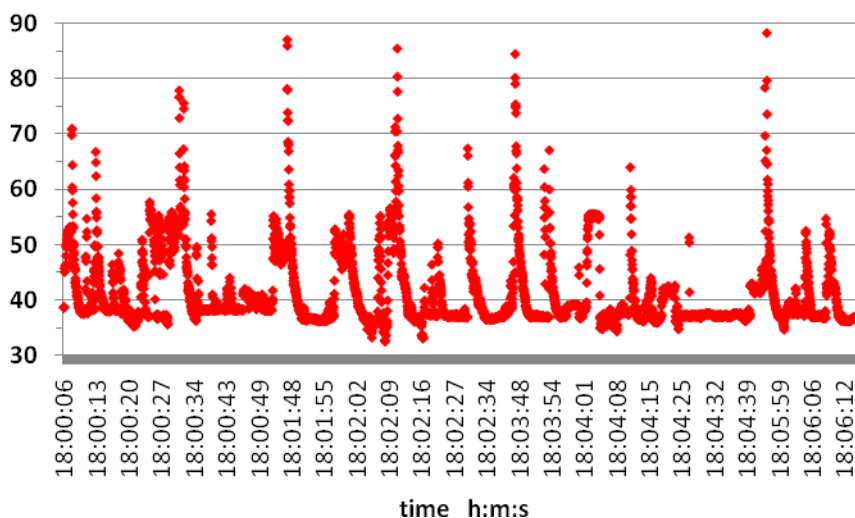


Fig.34 : Andamento nel tempo del massimo valore di temperatura raggiunto dalla bocca dei quattro suinetti durante le operazioni di molatura dei denti

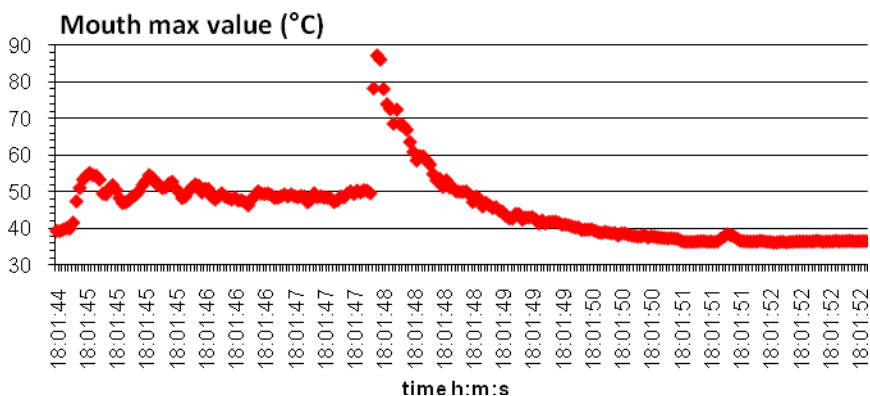


Fig.35 : Particolare dal grafico precedente: i picchi di temperatura hanno durate non superiori al secondo

Conclusioni e prospettive

E' stato effettivamente possibile registrare video termografici durante le operazioni di molatura dei denti dei maialini, senza interferire con la procedura in atto e fornendo informazioni utili. Per ottenere questo risultato è però necessario utilizzare una termocamera con risoluzione spaziale almeno pari alla AVIO TVS500 da noi utilizzata, per garantire la correttezza dei valori di temperatura ottenuti su oggetti piccoli come nel caso dei denti.

Inoltre, l'utilizzo del video termografico e non delle singole immagini, si è rivelato in questo caso necessario, poiché le variazioni di temperatura si sono dimostrate repentine; la scelta di una frequenza di acquisizione di 30 frame al secondo si è dimostrata adeguata; infatti, una frequenza inferiore porterebbe alla perdita di informazione, mentre al crescere della frequenza utilizzata, crescono le dimensioni del file termografico, con conseguenti problemi di spazio e gestione. Le dimensioni del file da noi realizzato sono di poco superiori a 2 gigabyte.

Per quanto riguarda la discussione in atto sull'opportunità della procedura di resezione dei denti per il benessere degli animali, possiamo sostenere che, i denti hanno raggiunto frequentemente valori di temperatura di 50/55 °C; in alcuni momenti dell'operazione le temperature raggiunte hanno sfiorato valori di 90 °C, anche se per intervalli temporali inferiori al secondo.

Sarebbe opportuno realizzare nuovi video, contemporaneamente sia nel visibile che nell'infrarosso, per capire quali siano le fasi della molatura che portano all'elevato riscaldamento riscontrato in alcuni

momenti; inoltre, la tecnica termografica potrebbe essere efficacemente utilizzata per affinare la procedura di molatura verificando se alcune pratiche o differenti movimentazioni dell'apparecchiatura possano ridurre il valore delle temperature rilevate.

Dai risultati ottenuti utilizzando il video termografico in questo caso di studio, sembrerebbe che, se effettuata in modo corretto, la molatura dei denti non causi il riscaldamento dei tessuti molli della bocca, ma solamente quello dei denti stessi, per un periodo di tempo molto breve. Ulteriori esami comportamentali e fisiologici potrebbero essere svolti durante l'operazione per valutarne l'effetto complessivo sul benessere del suinetto, approfondendo il dibattito sulla procedura più idonea per la resezione dei denti dei suinetti. La tecnica termografica è un metodo di misura assolutamente nuovo in questo ambito e si è dimostrata in grado di fornire informazioni particolareggiate; potrebbe essere quindi di fondamentale importanza in futuro per una migliore comprensione degli effetti delle procedure di resezione dei denti nei suinetti.

Cap.6 – Applicazioni in campo zootecnico

6.2 Misura della temperatura cutanea del suinetto durante il trasporto su camion

Contesto

Il lavoro qui proposto si inserisce in un progetto di ricerca più ampio riguardante la valutazione oggettiva ma non invasiva dello stato di benessere dei monogastrici in condizioni ambientali particolarmente difficili, quali quelle tipiche dei trasporti su camion. Infatti, la problematica del benessere nel trasporto animale è sempre più di attualità, e pressante è l'interesse della Commissione Europea, anche nell'ottica di un miglioramento della qualità del prodotto finale nel caso dei trasporti per macellazione.

Il trasporto è una fonte di stress per l'animale per svariati motivi fisici e psicologici: impossibilità di cibarsi e bere, sovraffollamento, scarsa igiene, rumore, movimentazione legata alle operazioni di carico e scarico. Tali fattori concorrono con le condizioni ambientali presenti all'interno dei mezzi ad incrementare la temperatura corporea degli animali (Knowles e Warriss, 2007) che, se rimane elevata fino alla macellazione, porta ad un peggioramento della qualità della carne per un'accelerazione del processo di denaturazione delle proteine (Briskey e Wismer-Pedersen, 1961; Ryu et al., 2005). Sono state studiate inoltre molte variabili

fisiologiche che si alterano in una situazione di stress, come ad esempio i livelli ormonali in relazione all'attivazione simpatico-medullo- surrenale e all'asse ipotalamo-ipofisi-surrene, oltre ai cambiamenti di natura cardiovascolare; infatti, lo stress può indurre modificazioni sulla frequenza cardiaca, o modificazioni vascolari in differenti parti del corpo, che si riflettono in variazioni della temperatura corporea e di quella cutanea. (Blessing, 2003; Godsil et al., 2000).

Ciò è particolarmente vero per il suino, caratterizzato da un sistema di termoregolazione inefficiente in presenza di temperature ambientali elevate, a causa di una sudorazione ridotta e di scarse capacità di dispersione del calore, fattori alla base della relazione tra tasso di mortalità durante il trasporto e temperatura ambientale rilevata da diversi autori (Warriss e Brown, 1994; Floriani et al., 2006; Haley et al., 2008). D'altra parte, i sistemi comunemente utilizzati per la misura della temperatura in campo animale sono caratterizzati dalla impossibilità di registrare i dati senza indurre ulteriori stress, dovuti alla manipolazione dell'animale da parte dell'uomo (Berz, 1998). Infatti, gli strumenti tradizionali di misura, come i termometri rettali, richiedono il contenimento dell'animale e possono essere impiegati solo in maniera discontinua, prima e dopo il trasporto. Recentemente, Mitchell et al. hanno monitorato in continuo la temperatura corporea profonda durante il trasporto mediante un data-logger inserito chirurgicamente nel corpo del suino; questa tecnica, data l'invasività e i costi, è applicabile solo su pochissimi soggetti trasportati, i quali hanno il ruolo di "sentinelle" (Mitchell et al., 2005). La messa a punto di una tecnica per il rilievo termografico all'interno del camion permetterebbe invece di

monitorare la temperatura cutanea a distanza senza interagire con i soggetti indagati.

Scopo della ricerca

Scopo di questo lavoro è stato quello di rilevare in modo non invasivo e continuo le modificazioni del profilo termometrico del suinetto durante il trasporto su camion e valutare le sue relazioni con la temperatura all'interno dell'automezzo; riteniamo infatti che esso possa essere utilizzato come parametro oggettivo per la valutazione del benessere degli animali trasportati.



Fig.36 : Immagine del veicolo utilizzato nella sperimentazione (Dipartimento di Scienze Animali – Università degli Studi di Milano, 2009)

Materiali e metodi

In collaborazione con il Dipartimento di Protezione e Valorizzazione Agro-alimentare di Bologna sono stati effettuati due viaggi di 14 ore ciascuno, rispettivamente nei mesi di luglio e settembre 2009, utilizzando un veicolo da trasporto commerciale. Una termocamera AVIO TVS 500 è stata posta nel primo viaggio di fronte al compartimento in cui erano alloggiati i suinetti, e al di sopra di questo nel secondo viaggio; per i 6 soggetti alloggiati nel compartimento è stata rilevata la variazione della temperatura cutanea durante l'intera durata del viaggio.



Fig.37 : Immagine dei suinetti alloggiati nel compartimento durante il viaggio (Dipartimento di Scienze Animali – Università degli Studi di Milano, 2009)

Il peso medio dei suinetti trasportati è stato pari a $10,88 \pm 1,97$ nel primo viaggio e a $8,08 \pm 0,74$ nel secondo ed erano suddivisi in compartimenti di 6 animali ciascuno (Fig. 37).

La termocamera era collocata ad una distanza dai soggetti pari a 2 metri nel primo viaggio e pari a 1 metro nel secondo ed era alloggiata in una custodia protettiva costruita per l'occorrenza.



Fig.38 : Interno del veicolo utilizzato nella sperimentazione: è visibile la custodia protettiva che ospitava la termocamera (Dipartimento di Scienze Animali – Università degli Studi di Milano, 2009)

In entrambi i viaggi, il compartimento esaminato era posto nella parte anteriore dell'automezzo, in corrispondenza del suo lato

destro. Il posizionamento della strumentazione ha richiesto che la distanza tra il piano di carico ed il soffitto raggiungesse la misura di m 1,80. Il volume a disposizione degli animali è risultato quindi molto ampio e, per tale ragione, non si è fatto uso della ventilazione naturale, lasciando chiuse le finestre dell'automezzo.

La temperatura e l'umidità relativa sono state registrate in continuo mediante i termoigrometri indicati nel Capitolo 3, posti all'interno del compartimento che alloggiava i suinetti.

Le oltre 4000 immagini termografiche ottenute sono state analizzate con il software dedicato Goratec Thermography Studio Professional. Per l'elaborazione dei dati sono stati considerati, per ciascuna immagine termica, i valori massimi di temperatura rilevati in corrispondenza del compartimento. Questi, infatti, sono attribuibili esclusivamente alla cute dei suinetti che è caratterizzata da valori molto superiori a quelli della lettiera, delle pareti dell'automezzo e dei lati del compartimento.

Mediante l'analisi di regressione, effettuata con la procedura Reg del programma statistico SAS (4), è stato esaminato l'andamento dei valori massimi di temperatura cutanea in relazione a quelli registrati per l'aria all'interno del veicolo durante i due trasporti.

Risultati ottenuti

In Fig.39 sono riportati i valori medi e le misure di variabilità della temperatura massima cutanea degli animali e di quella registrata all'interno del veicolo durante i viaggi di luglio e di settembre. Non è

possibile confrontare i rispettivi dati di temperatura a causa del diverso posizionamento della termocamera nei due viaggi. Ciò ha infatti causato la modifica dell'angolo di ripresa e quindi delle zone corporee rilevate dallo strumento. In particolare, nel secondo viaggio, la collocazione perpendicolare della termocamera rispetto al compartimento ha permesso di rilevare valori di temperatura cutanea più elevati, malgrado la presenza di temperature ambientali più basse all'interno del veicolo. Inoltre, il diverso posizionamento della strumentazione ha ridotto anche la variabilità della misura termografica.

	Media	D.S.	Minimo	Massimo
- temperatura cutanea - luglio	35,97	1,12	33,3	38,7
-temperatura interna veicolo luglio	26,32	3,79	21,5	35,5
- temperatura cutanea - settembre	38,13	0,87	36,0	39,9
- temperatura interna veicolo settembre	22,27	3,31	16,0	27,7

Fig.39 : Valori medi e misure di variabilità della temperatura cutanea e di quella interna del veicolo durante il trasporto

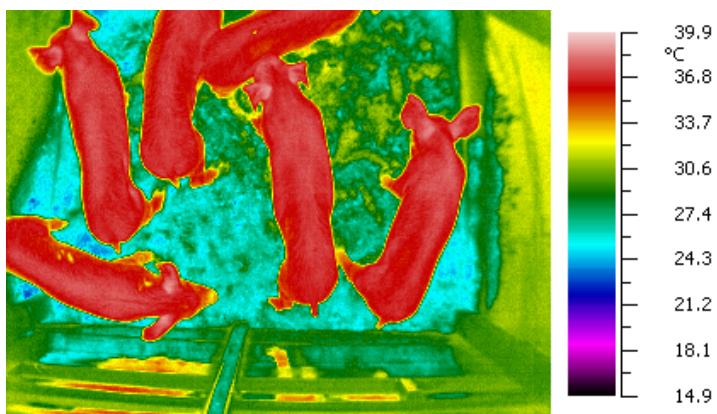
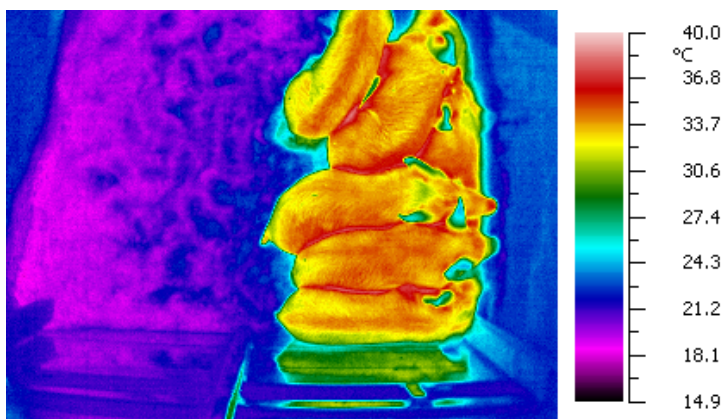


Fig.40 : Esempi di immagini termografiche ottenute all'inizio (in alto) e alla fine (in basso) del trasporto effettuato nel mese di settembre (Dipartimento di Scienze Animali – Università degli Studi di Milano, 2009).

Nel grafico riportato in Fig.41 sono visibili i risultati ottenuti, secondo i quali, in entrambi i viaggi, la relazione tra la temperatura cutanea degli animali e quella interna al veicolo è stata lineare ($P < 0,001$). Sui dati di entrambi i mesi sono state testate regressioni polinomiali fino al quinto grado che non hanno incrementato il valore di R^2 ottenuto con la regressione semplice, pari a 0,44 nel viaggio di luglio e a 0,57 in quello di settembre.

Risulta interessante osservare che le equazioni relative ai due viaggi hanno presentato coefficienti angolari molto simili, rispettivamente pari a + 0,1972 e + 0,1992.; ciò ha permesso di definire che, nel range di temperature ambientali registrate nei due trasporti, un incremento di un grado della temperatura ambientale ha provocato un incremento di 0,2 °C della temperatura massima cutanea degli animali.

Nei grafici riportati in Fig.41 sono presentati gli andamenti della temperatura massima cutanea dei suinetti e di quella interna del veicolo, nei due viaggi esaminati. Come si può notare vi è stata una discreta corrispondenza tra le variazioni delle due temperature in entrambi i viaggi, in particolare quando la temperatura ambientale ha superato i 25 °C nel viaggio di luglio ed i 20 °C nel viaggio di settembre.

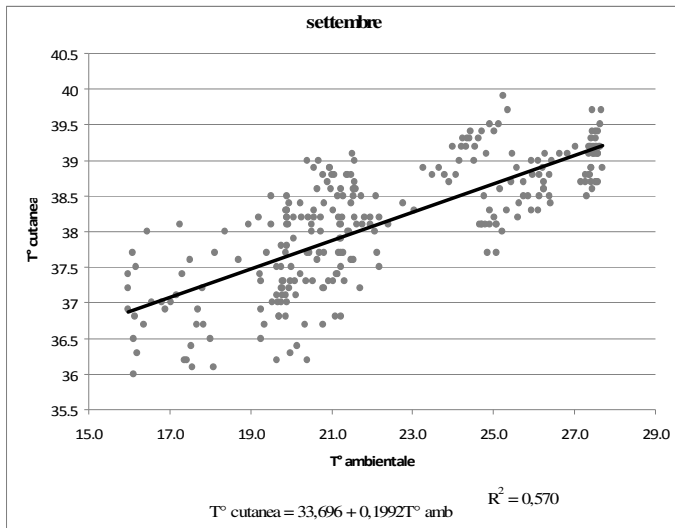
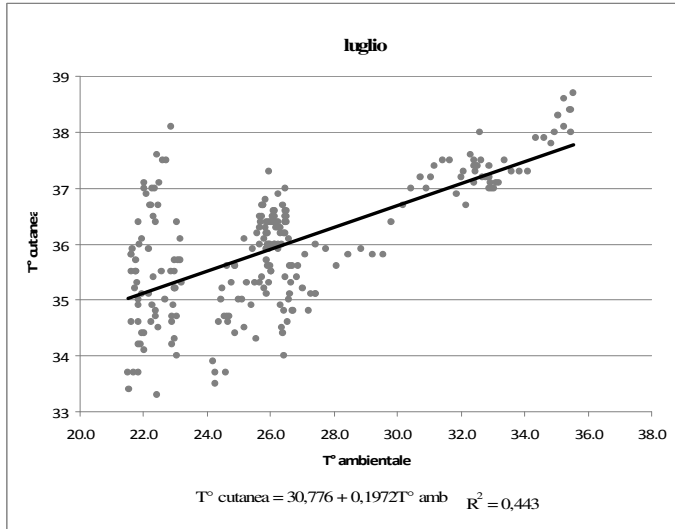


Fig.41: Regressione lineare tra la temperatura massima cutanea dei suinetti e quella ambientale rilevata all'interno del veicolo durante i trasporti effettuati nei mesi di luglio (in alto) e settembre (in basso).

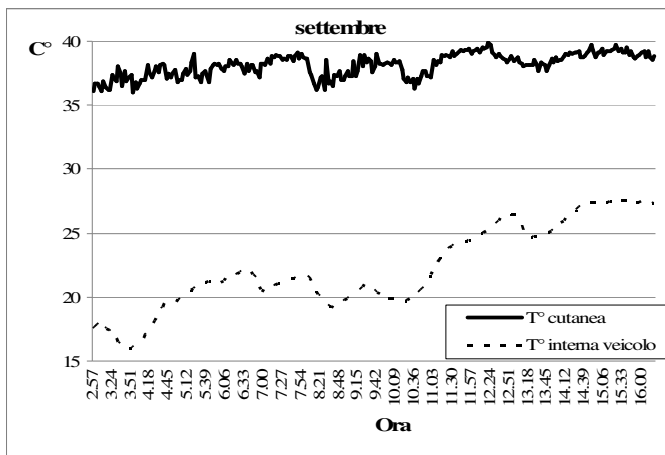
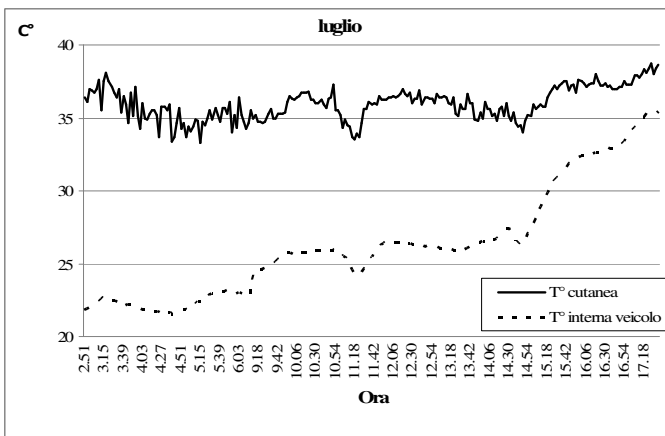


Fig.42: Andamento della temperatura massima cutanea dei suinetti e di quella rilevata all'interno del veicolo durante i trasporti effettuati nei mesi di luglio (in alto) e settembre (in basso).

Conclusioni e prospettive

A nostra conoscenza, questa prova rappresenta la prima sperimentazione nella quale è stata impiegata la tecnica termografica per misurare le variazioni della temperatura corporea superficiale, in continuo, durante un trasporto di suini.

L'utilizzo di tale tecnica si è dimostrato possibile, pur con i limiti imposti dalle difficoltà di posizionamento della strumentazione e dal particolare ambiente in cui sono state effettuate le misurazioni. In particolare, le vibrazioni dell'automezzo sono risultate particolarmente fastidiose ed è quindi necessario l'uso di supporti in grado di smorzare tali vibrazioni, per evitare inconvenienti alle parti meccaniche della termocamera.

La relazione lineare osservata tra la temperatura massima cutanea dei suinetti e quella dell'aria all'interno del mezzo di trasporto ha confermato quanto rilevato in camera termica da Loughmiller et al. ove, in un range di temperatura compreso tra + 10°C e + 32 °C, tale relazione ha raggiunto un R^2 pari a 0,97.

I risultati del presente studio hanno dimostrato come attraverso la termografia sia possibile registrare le variazioni della temperatura corporea superficiale e come questa, nel tempo, si adatti ai cambiamenti di quella ambientale. Tale tecnica, accoppiata a sistemi di registrazione della temperatura profonda, potrà contribuire a comprendere meglio gli sforzi adattativi dei suini alle condizioni ambientali sperimentate durante il trasporto, in particolare a quelle estreme.

Inoltre, l'applicazione della termografia come metodo non invasivo per il rilievo della temperatura cutanea in suini sottoposti allo stress

da trasporto, consentirà una verifica oggettiva del loro stato di benessere. Una volta standardizzata e ottimizzata, tale metodologia potrà essere applicata come sistema di routine sui camion da trasporto commerciali.

Cap.7 – Valutazione del benessere

7.1 Termografia e heart rate variability come parametri non invasivi per il benessere del cavallo atleta

Contesto

Comunemente con il termine *stress* s'intende una sindrome di adattamento ad alcuni *stressors* o sollecitazioni; esso costituisce cioè la risposta adattativa di un animale a delle condizioni avverse. Una situazione di *stress* è quindi in grado di ridurre la capacità di adattamento. Lo *stress* può essere fisiologico, oppure presentare dei risvolti patologici. Gli *stressors* provocano dei cambiamenti nell'omeostasi dell'organismo, il quale risponde con delle reazioni regolative di vario genere (neurologiche, emotive, locomotorie, ormonali e immunologiche). Non solo gli *stressors* ambientali, ma anche situazioni soltanto percepite come potenzialmente dannose o che richiedono l'impiego di tutte le energie e le difese dell'organismo, determinano una maggiore attivazione del sistema simpatico e un'alterazione dell'omeostasi (Gonzales *et al.*, 2009). Oltre ad agenti stressanti quali possono essere il freddo, il caldo e le malattie, importanza fondamentale ha anche la componente emotiva; essa è sempre coinvolta nello *stress*, sia come effetto, sia come amplificazione dell'effetto, sia come causa. Si è potuto osservare (Gonzales *et al.*, 2009) come le risposte individuali ad uno

stesso agente stressante variano d'intensità a seconda del coinvolgimento e dello stato emotivo dell'animale.

Nella risposta allo *stress* ha molta importanza anche la mancata prevedibilità, che nell'animale genera ansia, poiché si trova di fronte al conflitto tra la necessità di agire (evitare o affrontare la situazione) e l'impossibilità di prevedere l'entità dell'eventuale danno; l'animale non sa che azione mettere in atto. In reazione allo *stress* si verifica anche una risposta endocrina correlata allo stato emotivo. Se le cause di *stress* cessano o se l'animale si adatta, la situazione torna alla normalità; se invece le cause persistono o l'animale non si adatta, esso si trova a vivere permanentemente in uno stato di *stress* cronico e di malessere ed è esposto ad ogni altro agente nocivo ("stato di esaurimento") (Mellor *et al.*, 2000). Situazioni di *stress* sono molto comuni negli animali domestici perché le condizioni di allevamento non sempre sono compatibili con le esigenze fisiologiche e comportamentali degli stessi. Ne deriva che le conseguenze dello *stress* si ripercuotono sul benessere e sulle produzioni dell'animale. Oltre al calo delle difese immunitarie e della produzione, si può anche avere una vera e propria patologia da *stress* cronico con la comparsa di alterazioni fisiche (Selye, 1956) e comportamentali (depressione, aggressività, stereotipie). La strategia di difesa che l'animale metterà in atto, dipende da molti fattori, quali ad esempio la specie, il tipo genetico e le esperienze individuali acquisite (Moberg e Mench, 2000).

Lo *stress* può anche indurre modificazioni sulla frequenza cardiaca e modificazioni vascolari in differenti parti del corpo, che si riflettono in variazioni della temperatura corporea e di quella cutanea (Blessing, 2003; Godsil *et al.*, 2000; Walter e Carrie, 2003). Le

risposte biologiche comprendono il comportamento e l'attivazione dei sistemi autonomo, neuroendocrino ed immunitario, che interagiscono e permettono all'organismo, almeno inizialmente di aumentare le difese nei confronti di forme patogene (Moberg e Mench, 2000). In una reazione di *stress* acuto l'encefalo invia segnali alle ghiandole surrenali le quali secernono gli ormoni adrenalina (epinefrina) e noradrenalina. Questi ormoni inducono una maggiore tensione muscolare, l'aumento della frequenza del battito cardiaco e della pressione del sangue, e un'accelerazione della respirazione. Si ha una vasocostrizione periferica con rara o assente sudorazione. In presenza di *stressors*, le variazioni di temperatura superficiale e le modificazioni del circolo rappresentano alcuni tra gli indicatori più interessanti per misurare non solo la presenza di una risposta allo *stress*, ma anche la sua intensità. I principali problemi nella misurazione della temperatura corporea e della cute dipendono dalla difficoltà che si riscontra nel registrare i dati senza indurre ulteriori *stress* all'animale.

Diventa quindi importante utilizzare la tecnica termografica e l'Heart Rate Variability poiché esse permettono di monitorare a distanza la temperatura e la frequenza cardiaca, senza interagire con le reazioni comportamentali degli animali (Kastberger e Stachl, 2003).

La possibilità di disporre di misure oggettive e valide per quantificare lo *stress* nei cavalli rappresenta un obiettivo importante al fine di consentire una corretta applicazione delle norme sulla tutela del loro benessere. Occorre lavorare al raggiungimento di questo scopo verificando con studi sperimentali e di campo la validità e l'affidabilità dei possibili parametri candidati.

Tra gli indici affidabili e non invasivi per la valutazione, in situazioni di campo, del benessere dei cavalli, l'Heart Rate Variability è attualmente considerata un parametro valido per la valutazione dell'attività simpato/vagale in relazione a stressors ambientali e può quindi rappresentare un parametro di riferimento per la validazione di nuovi indicatori di stress.

Scopo della ricerca

A partire da queste considerazioni, scopo del presente lavoro è stato quello di verificare la fattibilità e la ripetibilità delle misurazioni termografiche in un campione di cavalli sportivi. Sugli stessi soggetti, i dati termografici sono stati registrati ed analizzati congiuntamente ai dati di heart rate variability per verificare la validità della termografia quale potenziale indicatore non invasivo di stress.

Materiali e metodi

La presente ricerca è stata eseguita presso i reparti di Clinica Medica e di Clinica Chirurgica dell'Ospedale Veterinario di Lodi. La raccolta dei dati si è svolta nel periodo compreso tra ottobre e novembre 2009; sono stati presi in esame 15 cavalli di razza eterogenea ed età

compresa tra 1 e 17 anni, ricoverati presso la struttura dell’Ospedale Veterinario di Lodi.

Oltre a 4 cavalli “didattici”, ossia soggetti sani di proprietà della Facoltà e usati ai fini di insegnamento didattico agli studenti, hanno fatto parte della sperimentazione anche 11 cavalli di proprietà di privati, ricoverati perché accusavano patologie diverse tra cui: zoppie, patologie respiratorie croniche, atassia, Sindrome da Poor Performance.

All’interno del reparto di Clinica Medica per Equini i cavalli erano stabulati all’interno di box (3m x 3m) su lettiera costituita da segatura e venivano alimentati con fieno e mangime completo integrato tre volte al giorno. Tutti i giorni, al mattino, veniva effettuata ai soggetti una visita clinica generale, per verificarne lo stato di salute ed i dati relativi venivano riportati sulle rispettive cartelle cliniche. Il ricovero dei cavalli poteva durare da un giorno a due settimane a seconda della patologia riscontrata.

Per la registrazione telemetrica della frequenza cardiaca è utilizzato il cardiofrequenzimetro POLAR® VANTAGE NV HRM costituito dai seguenti componenti:

- ◆ Ricevitore (cardiofrequenzimetro da polso) Polar® Vantage NV (Fig.10)
- ◆ Trasmettitore Polar®
- ◆ Elettrodi* connessi al trasmettitore attraverso cavi
- ◆ Interfaccia Polar® Advantage per PC con relativo software per scaricare ed analizzare i dati registrati



Fig.43: Ricevitore Polar® Vantage NV . Elettrodi e trasmettitore .

Per poter utilizzare il cardiofrequenzimetro, gli elettrodi venivano applicati sulla cute e tenuti in sede da un normale fascione fissa coperte, rispettivamente all'altezza della punta della scapola e sulla proiezione dell'apice cardiaco nella regione del sottopancia. Tale posizione consentiva la miglior rilevazione delle differenze di potenziale del cuore nei cavalli. La cute ed il pelo del cavallo venivano preventivamente inumiditi e la durata della registrazione della frequenza cardiaca era mediamente di 20 minuti per ogni animale. E' stata scelta l'opzione di registrazione RR, nella quale vengono registrati tutti i tempi che intercorrono tra un battito cardiaco e il successivo, espressi in millisecondi (registrazione beat-to beat).

Per l'analisi del segnale di variabilità cardiaca sono state considerate la RMSSD e il rapporto LF/HF. La RMSSD è una variabile statistica. E'

la radice quadrata della media della somma di quadrati delle differenze tra intervalli R-R adiacenti. La LF (*Low Frequency*) è condizionata soprattutto dal sistema nervoso simpatico, mentre la HF (*High Frequency*) dal sistema nervoso parasimpatico. Il rapporto LF/HF è definito indice di equilibrio simpato-vagale, più è alto più è prevalente l'attività del sistema simpatico coinvolto nelle condizioni di *stress* e di allarme dell'animale.

I parametri ambientali come temperatura (T°) e umidità (UR%) sono stati monitorati tutti i giorni in modo da poter contestualizzare in modo preciso i risultati ottenuti dalle immagini termografiche.

Per ogni soggetto sono stati effettuati i rilievi termografici da una distanza di circa 2 metri, compatibilmente con le dimensioni dei box e degli animali, dell'area della caruncola lacrimale e della zona perineale.

La termo camera utilizzata è stata la TVS500 in dotazione e sono state realizzate singole immagini termografiche.

Su ciascun soggetto la procedura è stata ripetuta due volte nell'arco della giornata: una volta al mattino a partire dalle ore 9, la seconda volta al pomeriggio entro le ore 16.

Per ogni cavallo è stata inoltre realizzata una scheda comportamentale che ha permesso di suddividere gli animali in due classi, a seconda che fossero stati considerati 'normalmente reattivi' oppure 'altamente reattivi', in base alla presenza di stereotipie e alle reazioni del soggetto ad alcuni eventi standardizzati, come, ad esempio, l'ingresso di un estraneo nel box. Complessivamente dei 15 soggetti del campione, solamente 3 hanno superato la soglia e sono stati considerati altamente reattivi.

Sui dati ottenuti sono state effettuate statistiche descrittive; la Heart Rate Variability (HRV) è stata analizzata con il metodo degli indici ed è stata effettuata un'analisi della varianza non parametrica (Wilcoxon Matchpaired Test) per verificare eventuali differenze tra i dati registrati nelle diverse fasce orarie.

Si sono eseguite correlazioni non parametriche di Spearman per evidenziare le relazioni esistenti fra le variabili; inoltre è stata effettuata un'analisi della varianza non parametrica (U di Mahn-Whitney) per verificare se i cavalli considerati stressati si differenziassero significativamente.

Risultati ottenuti

Di seguito sono riportate due immagini termografiche relative alla zona perioculare e a quella perianale di uno dei soggetti sottoposti alla sperimentazione (Fig.44 e Fig.45).

In Fig. 46 sono invece riportati i risultati relativi alle statistiche descrittive effettuate, da cui si può notare come sia stato possibile ottenere registrazioni valide nella quasi totalità dei soggetti e come la variabilità sia particolarmente evidente nel caso degli indici di HRV, in accordo con quanto riportato in letteratura (Catipovic-Veselica *et al.*, 1999; Von Borell *et al.*, 2007). Questo fatto denota come anche in condizioni basali esista un'elevata variabilità individuale sia per quanto riguarda la temperatura superficiale che per la HRV.

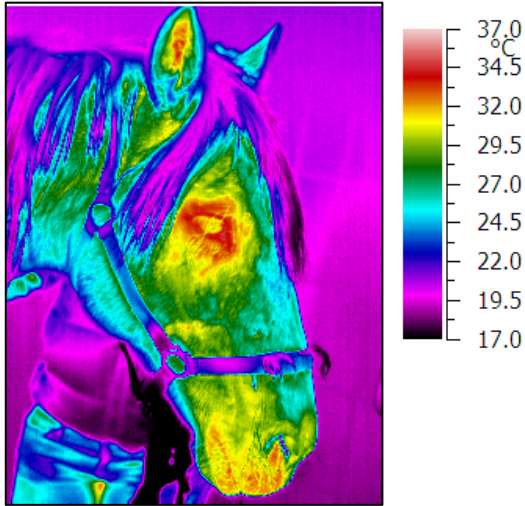


Fig. 44: Immagine termografica della testa di un soggetto: è visibile in rosso la zona periculare (Dipartimento di Scienze Animali – Università degli Studi di Milano, 2009).

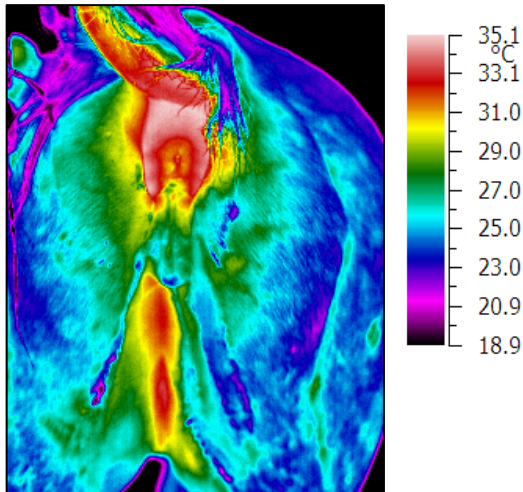


Fig. 45: Immagine termografica dell'area perineale di un soggetto (Dipartimento di Scienze Animali – Università degli Studi di Milano, 2009).

	N campioni	T° Minima	T° Massima	T° Media	Deviazione std.	
	Statistica	Statistica	Statistica	Statistica	Errore std	Statistica
occhio dx	26	33	36	35,12	,193	,985
occhio sx	30	33,51	37,01	34,9660	,16130	,88347
Perineo	29	29,43	38,21	35,1507	,37890	2,04044

RMSSD	27	51,80	456,80	123,507 4	20,6484 5	107,2924 7
LF/HF	29	1,62	59,54	15,1369	2,65210	14,28198
Validi (<i>listwise</i>)	23					

Fig. 46: Valori medi, minimi, massimi e deviazione standard dei valori rilevati

Si noti che i valori di temperatura rilevati in sede perineale presentano una maggiore dispersione rispetto a quelli rilevati in corrispondenza dell'area della caruncola lacrimale.

Un risultato importante è stato quello per cui i dati termografici rilevati nelle diverse sedi (occhio destro, occhio sinistro, perineo) son risultati tutti significativamente correlati ($p < 0,01$). E altrettanto correlati ($p < 0,01$) sono i parametri RMSSD e LF/HF.

Possiamo quindi dire che nonostante i diversi fattori: sede di rilievo, eterogeneità dei soggetti e loro indole, le misurazioni sono risultate attendibili.

Sono state verificate possibili relazioni tra piccole variazioni di temperatura ambientale e temperatura superficiale dei singoli soggetti e non sono state evidenziate delle correlazioni significative.

Nei soggetti non è stata riscontrata ipertermia per cui la temperatura interna era nei normali range fisiologici.

Per quanto riguarda i risultati riportati nelle figure 47 e 48 è possibile osservare che gli indici di HRV sono risultati significativamente diversi tra mattina e pomeriggio; in particolare la media dell'indice RMSSD, al mattino, è considerevolmente più alta rispetto alla media dello stesso parametro nel pomeriggio, in accordo con quanto riportato in letteratura (Von Borell *et al.*, 2007; Visser *et al.*, 2009) poichè nelle ore serali è maggiore l'attività del sistema nervoso simpatico a sfavore del parasimpatico.

Un discorso analogo è valido per il rapporto LF/HF definito indice di equilibrio simpato-vagale (Waterhouse *et al.*, 2007) in quanto esiste un ritmo circadiano dell'attività del sistema nervoso autonomo e nelle ore pomeridiane/serali si verifica un aumento dell'attività nervosa simpatica.

Diverso è stato il risultato per i valori di temperatura superficiale rilevati che non sembrano essere influenzati da ritmi circadiani.

	Comparison Morning/Afternoon			
	Morning		Afternoon	
	Mean	Standard Deviation	Mean	Standard Deviation
Right eye	35,00	±1,00	35,00	± 1,00
Left eye	34,90	±,70	35,04	± 1,06
perineal	35,22	± 2,00	35,08	± 2,15
RMSSD	167,61	± 140,19	82,56	± 33,62
LF/HF	10,22	± 10,01	19,73	± 16,37

Fig. 47: Valori dei parametri in esame nelle due fasi della giornata: mattina e pomeriggio

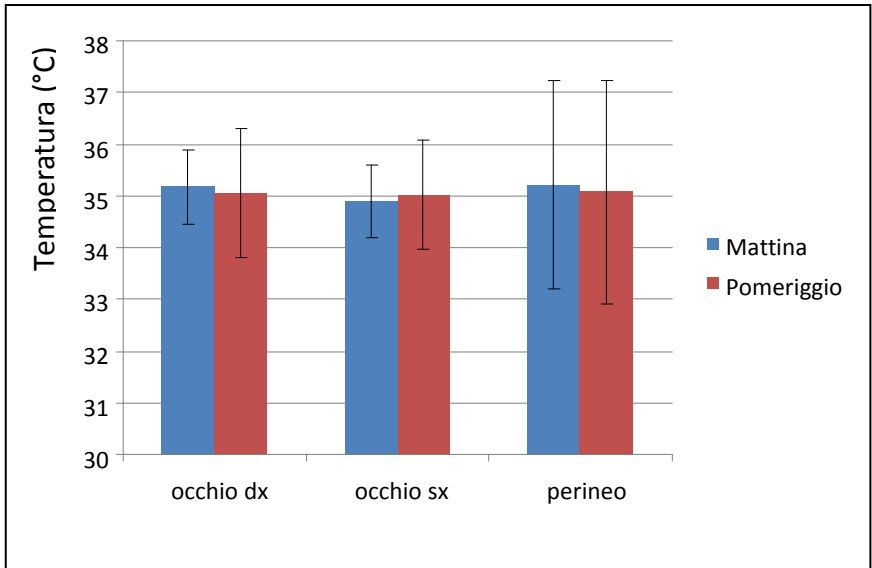


Fig. 48: Grafico dei i valori di temperatura superficiale rilevati al mattino a al pomeriggio: non sono state rilevate differenze significative

Per quanto riguarda le due classi di soggetti definite normalmente reattivi e altamente reattivi, i risultati sono riportati nelle figure 49 e 50. In particolare, la temperatura rilevata sia a livello della caruncola che del perineo è risultata significativamente diversa nei soggetti giudicati altamente reattivi, rispetto agli altri; questo risultato sembrerebbe indicare effettivamente la presenza di una vasocostrizione periferica.

Il rapporto LF/HF mostra un incremento nei soggetti considerati stressati, anche se non statisticamente significativo. Si tenga presente la bassa numerosità del campione.

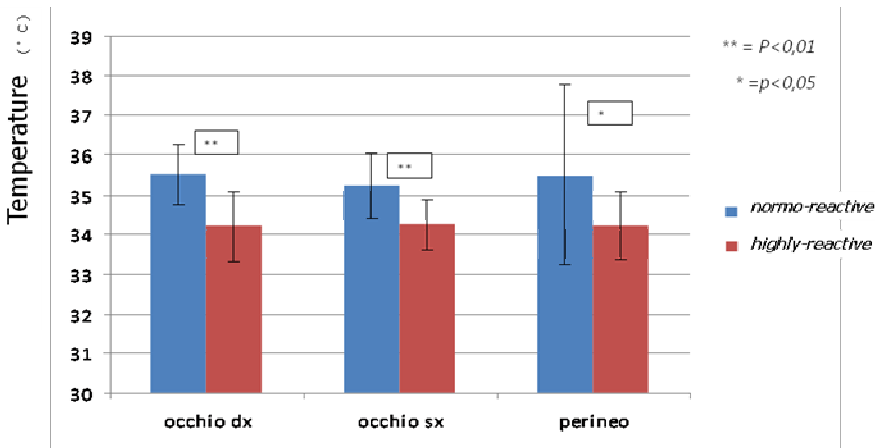


Fig. 49: Grafico dei i valori di temperatura superficiale rilevati separati per soggetti normalmente reattivi e altamente reattivi

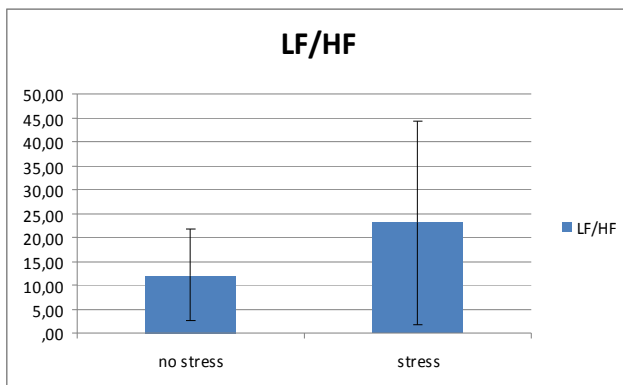


Fig. 50 Differenza fra il rapporto LF/HF di soggetti normalmente reattivi e altamente reattivi. La differenza non è statisticamente significativa.

Conclusioni e prospettive

Le misurazioni termografiche effettuate durante questa sperimentazione su un campione di cavalli sportivi in box, si sono dimostrate semplici da eseguire, ripetibili e robuste e non hanno richiesto alcuna preparazione preventiva degli animali. Inoltre, la tecnica termografica è stata in grado di distinguere i soggetti normalmente reattivi da quelli altamente reattivi.

La sede migliore per il rilievo termografico si è dimostrata essere la caruncola lacrimale, i cui valori sono risultati caratterizzati da una variabilità inferiore rispetto alla zona perineale.

La diminuzione di temperatura rilevata, probabilmente dovuta alla vasocostrizione dipendente dal sistema nervoso simpatico, potrebbe essere utile per monitorare eventi nei quali sono coinvolti rapidi cambiamenti dell'attività simpatica, come ad esempio uno stress acuto o improvviso. Potrebbe essere interessante effettuare a tale scopo una nuova sperimentazione rilevando i dati in condizioni basali e dopo la presentazione all'animale di uno stimolo improvviso, su un campione di soggetti più ampio e perfettamente sani.

Potrebbe essere interessante inoltre, eseguire alcune rilevazioni termografiche atte ad indagare le differenze di temperatura superficiale fra un cavallo soggetto a stress fisiologico ed un soggetto a stress emotivo.

Dal punto di vista tecnico, può essere di aiuto l'utilizzo di un'ottica grandangolare per la termo camera, dovendo lavorare in box e spazi interni a volte di dimensioni ridotte.

Cap.7 – Valutazione del benessere

7.2 – La termografia come tecnica non invasiva per valutare lo stato di benessere nei cani da lavoro

Contesto

L'importanza sociale e le molteplici funzioni del cane per la ricerca di stupefacenti sono unanimemente riconosciute e la preparazione dei soggetti a svolgere questi compiti richiede una elevata professionalità. Aspetti fondamentali sono le caratteristiche comportamentali e l'attitudine di questi animali, che devono essere scelti per svolgere compiti di indubbio rilievo sociale..

La possibilità di mettere a punto sistemi oggettivi e non invasivi per la valutazione, in età precoce, delle tendenze reattive dei soggetti da destinarsi all'addestramento, costituisce un obiettivo prioritario nella ricerca in campo cinotecnico-etologico, al fine di poter fornire alle strutture che ne faranno richiesta, protocolli di valutazione oggettivi, ripetibili e significativi.

Inoltre, l'applicazione ai soggetti di sistemi di valutazione precoce del temperamento potrebbe portare all'ottimizzazione dell'impiego delle risorse e ad un potenziamento della percentuale di successo in addestramento, limitando l'esclusione di soggetti che si rileveranno poi poco adatti dopo un periodo di addestramento più o meno lungo.

Nello studio del temperamento/reattività in campo animale, i test comportamentali sono un approccio comune; l'applicazione di queste metodiche rende possibile la valutazione della risposta dei vari soggetti a stimoli ambientali di varia natura e ad analizzare la situazione.

I tratti comportamentali vengono considerati caratteri quantitativi con ereditabilità variabile.

Nello studio della variabilità comportamentale, il rilevamento e la quantificazione di neurotrasmettitori, importanti nel determinare le caratteristiche di reattività dei soggetti studiati, è in genere effettuato attraverso l'utilizzo di HPLC (High-Performance Liquid Chromatography), che può essere considerata una delle tecniche più attuali ed efficaci nel rilevamento e nella quantificazione dei composti organici. In particolare alcuni neurotrasmettitori sono relazionabili alla manifestazione di stress e la loro valutazione a livello plasmatico e piastrinico ha permesso di ottenere dei risultati altamente significativi in lavori precedenti (Bellei, 2008). Al momento attuale non ci risulta che siano state effettuate ricerche per verificare l'applicabilità della tecnica termografica nella valutazione del benessere e del temperamento in cani da lavoro.

Scopo della ricerca

La presente sperimentazione è stata effettuata per verificare se la tecnica termografica possa essere utilizzata per la valutazione dello stato di benessere nel cane da lavoro, in relazione alle caratteristiche comportamentali e fisiologiche del soggetto.

E' stata inoltre testata la possibilità di rilevare i valori di temperatura cutanea in modo continuativo durante test comportamentali mediante videotermografia, senza interferire con il comportamento dell'animale.

Materiali e metodi

I rilievi sono stati effettuati presso il Centro di Allevamento ed Addestramento per cani antidroga della Guardia di Finanza a Castiglione del Lago (Pg) durante due prove distinte, la prima svoltasi nell'autunno 2007, prima che i soggetti fossero sottoposti al corso di addestramento e la seconda nella primavera 2008, dopo 6 mesi di addestramento.

Un totale di 20 soggetti, di cui 18 Pastori Tedeschi e 2 Labrador Retriever, 9 femmine e 11 maschi con età compresa tra 12 e 24 mesi, sono stati sottoposti ad un rilievo termografico contestualmente ad al prelievo ematico effettuato per valutare la concentrazione di catecolamine circolanti (dopamina, noradrenalina, serotonina e loro metaboliti sia plasmatici che piastrinici), in collaborazione con il

Dipartimento di Farmacologia, Chemioterapia e Tossicologia della Facoltà di Medicina e Chirurgia di Milano.

In seguito gli stessi animali sono stati sottoposti a un test di Attitudini Naturali per la valutazione delle loro caratteristiche comportamentali, modificato per la sperimentazione in oggetto da quello originale stilato dal gruppo di ricerca svedese avente come referente il Prof. Svartberg (Svartberg, 2005). La scheda utilizzata per la valutazione degli animali è riportata in Fig. 53, dove sono visibili i differenti aspetti comportamentali valutati, quali socialità, curiosità, etc...).

Durante lo svolgimento del test comportamentale i soggetti sono stati ripresi utilizzando la termocamera AVIO TVS500 collegata ad un computer portatile. Ciò ha permesso di ottenere i valori della temperatura cutanea degli animali in continuo movimento, lavorando a distanza senza interferire con il suo comportamento e con lo svolgimento del test. La distanza di ripresa variava in base al tipo di test effettuato (gli animali erano liberi di muoversi in accordo con le prove effettuate).

I rilievi termografici non sono stati effettuati all'aperto, ma in strutture coperte ed è stata prestata particolare attenzione alla zona perioculare, a quella auricolare e alla bocca degli animali.



Fig. 51: Immagine di uno dei soggetti ripreso durante il prelievo ematico (Dipartimento di Scienze Animali – Università degli Studi di Milano, 2008)



Fig. 52: Immagine di uno dei soggetti ripreso durante una fase del test comportamentale (Dipartimento di Scienze Animali – Università degli Studi di Milano, 2008)

Test comportamentale

Data _____
Località _____

Nome del cane _____

Sesso M F COLORE _____

Razza _____

N LOI/LIR _____

Data nascita ___ / ___ / _____

N fratelli cucciolata _____

TRATTO	SUBTEST	VARIABILE	PUNTEGGIO
GIOCOSITA'	GIOCO	INTERESSE	1 2 3 4 5
		COOPERAZIONE	1 2 3 4 5
		REZ. A CONT. FISICO	1 2 3 4 5
CURIOSITA'	RUMORE MET.	REAZ. SPAVENTO	1 2 3 4 5
		COMP. ESPLORATIVO	1 2 3 4 5
		COMP. EVITAMENTO	1 2 3 4 5
		COMP. AVVICINAMEN.	1 2 3 4 5
IST. PREDAT.	CACCIA	INTER. CACCIARE	1 2 3 4 5
		INTER. AFFERRARE	1 2 3 4 5
		INTER. CACCIARE	1 2 3 4 5
		INTER. AFFERRARE	1 2 3 4 5
SOCIABILITA'	CONT. SOCIAL	REAZ. SALUTO	1 2 3 4 5
		COOPERAZIONE	1 2 3 4 5
		REAZ. CONT. FISICO	1 2 3 4 5
AGGRESSIVITA'	ESTR. MINAC.	INTERESSE ESTRANEO	1 2 3 4 5
		COMPORT. AGGRESS.	1 2 3 4 5
		COMP. ESPLORATIVO	1 2 3 4 5
		INTERESSE TIRA-MOLLA	1 2 3 4 5
		INTER. INV. AL GIOCO	1 2 3 4 5
LIV. ATTIVITA'	SIT. PASSIVA	LIVELLO ATTIVITA'	1 2 3 4 5
REAZ IMPREVISTO	COLPO SALVE	REAZ. EVITAMENTO	1 2 3 4 5

Fig. 53: Scheda comportamentale utilizzata per l'attribuzione del punteggio durante il test TAN (Dipartimento di Scienze Animali – Università degli Studi di Milano, 2008)

Risultati ottenuti

Vengono di seguito riportate in Fig.54 due immagini esempio delle termografie realizzate in corrispondenza della zona perioculare, contestualmente al prelievo ematico; in particolare, per ogni area indagata (occhi, orecchie e bocca) è stato esportato il massimo valore di temperatura rilevato.

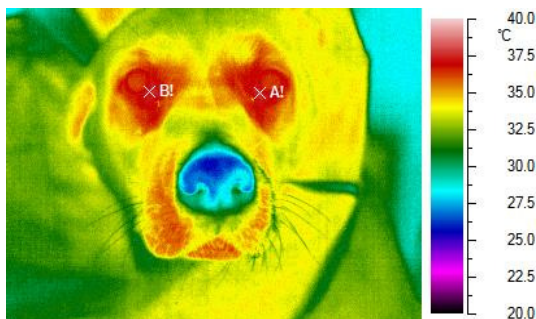


Fig. 54: Termografia esempio di un soggetto ripreso durante il prelievo ematico (Dipartimento di Scienze Animali – Università degli Studi di Milano, 2008)

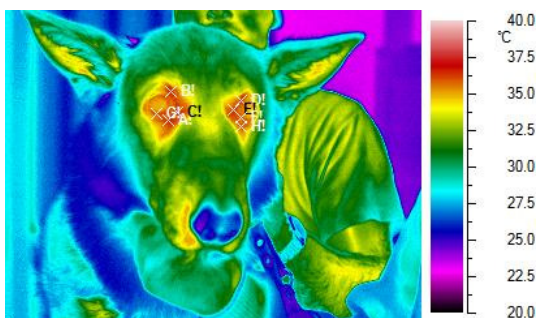


Fig. 55: Termografia esempio di un soggetto ripreso durante il prelievo ematico (Dipartimento di Scienze Animali – Università degli Studi di Milano, 2008)

Al fine di valutare l'effetto del sesso (maschio, femmina), dell'area di rilevazione (orecchio, occhio, bocca), della prova (prima o seconda) sul valore della temperatura, è stato utilizzato un modello lineare generale misto in cui il cane entro sesso è stato considerato come effetto random. Nelle tabelle sono riportati le stime della temperatura media per ogni variabile esplicativa, corrette per le altre variabili inserite nel modello. Le differenze tra i livelli delle variabili esplicative sono risultate significative solo per il sesso (differenza di $0.6^{\circ}\text{C}\pm 0.2^{\circ}\text{C}$), non sono risultate significative le differenze tra le prove e tra le aree.

SEX	t LSMEAN	Standard Error	Pr > t
F	37.267	0.199	<.0001
M	37.915	0.148	<.0001

PROVA	t LSMEAN	Standard Error	Pr > t
1	37.650	0.118	<.0001
2	37.532	0.137	<.0001

area	t LSMEAN	Standard Error	Pr > t
ear	37.813	0.162	<.0001
eye	37.519	0.123	<.0001
mou	37.441	0.171	<.0001

Fig. 56: Risultati dell'analisi statistica; le temperature medie per maschi e femmine sono significativamente diverse

Al fine di verificare se ci fossero relazioni tra i risultati dei test comportamentali e le temperature rilevate termograficamente, al modello precedentemente indicato è stata aggiunta la variabile risposta al test comportamentale, testando tutti i test a cui sono stati sottoposti gli animali uno alla volta.

Vengono di seguito riportate solamente le variabili comportamentali per cui la relazione è risultata significativa, cioè quelle relative al test 'contatto sociale' e al test 'rumore metallico' (Fig. 57 – 60).

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
SEX	1	5.796	5.796	18.35	0.0001
SOGG(SEX)	18	13.647	0.758	2.40	0.0130
PROVA	1	0.015	0.015	0.05	0.8287
area	2	0.479	0.239	0.76	0.4758
SOCIALE SALUTO	1	3.181	3.181	10.07	0.0031
Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
SEX	1	5.890	5.890	18.81	0.0001
SOGG(SEX)	18	13.146	0.730	2.33	0.0156
PROVA	1	0.824	0.8247	2.63	0.1136
area	2	0.664	0.332	1.06	0.3571
SOCIALE COOPERAZ.	1	3.280	3.280	10.48	0.0026
Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
SEX	1	5.591	5.591	17.83	0.0002
SOGG(SEX)	18	14.278	0.793	2.53	0.0092
PROVA	1	0.144	0.144	0.46	0.5022
area	2	0.388	0.194	0.62	0.5445
SOCIALE CONTATTO	1	3.260	3.260	10.39	0.0027

Fig. 57: E' stata rilevata una relazione lineare diretta statisticamente significativa tra le temperature e tutte le variabili relative al test 'contatto sociale'

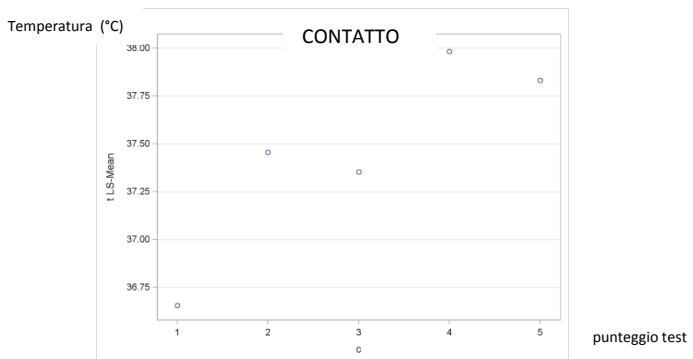
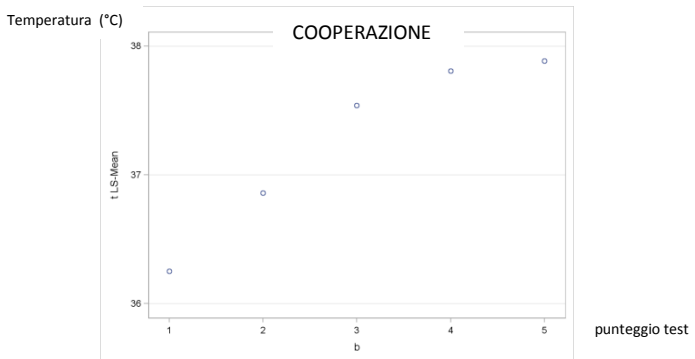
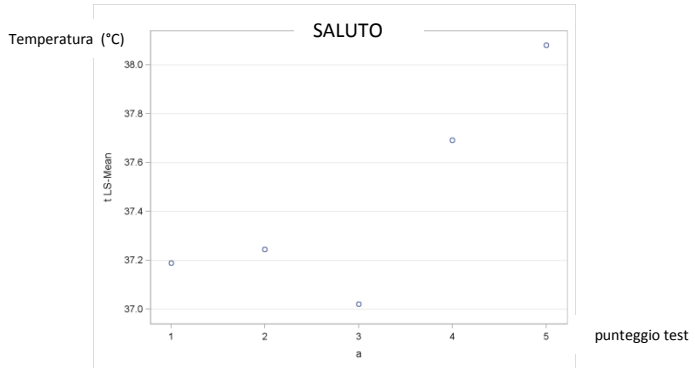


Fig. 58: Grafici relativi alla relazione tra la temperatura e le tre variabili del test 'contatto sociale'

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
SEX	1	8.08795322	8.08795322	25.80	<.0001
SOGG(SEX)	18	16.07758665	0.89319926	2.85	0.0035
PROVA	1	0.09455979	0.09455979	0.30	0.5862
area	2	0.66890138	0.33445069	1.07	0.3545
RUMORE SPAVENTO	1	2.83893997	2.83893997	9.06	0.0047
Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
SEX	1	5.62375669	5.62375669	15.99	0.0003
SOGG(SEX)	18	13.83125534	0.76840307	2.19	0.0242
PROVA	1	0.09634389	0.09634389	0.27	0.6041
area	2	0.61642272	0.30821136	0.88	0.4254
RUMORE EVITAMENTO	1	1.58549842	1.58549842	4.51	0.0411
Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
SEX	1	4.52051447	4.52051447	13.58	0.0008
SOGG(SEX)	18	13.84045400	0.76891411	2.31	0.0188
PROVA	1	0.77477959	0.77477959	2.33	0.1369
area	2	0.23723471	0.11861735	0.36	0.7029
RUMORE AVVICINAMENTO	1	2.13546985	2.13546985	6.42	0.0164

Fig. 59: E' stata rilevata una relazione statisticamente significativa tra le temperature e tre delle quattro variabili relative al test 'rumore metallico'; in particolare una relazione diretta per le variabili 'spavento' e 'evitamento' e inversa per la variabile 'avvicinamento'.

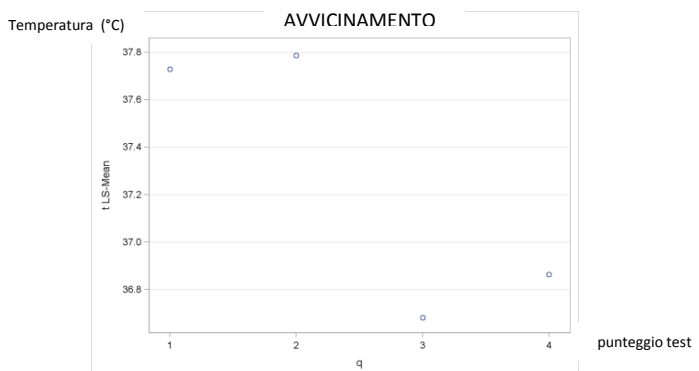
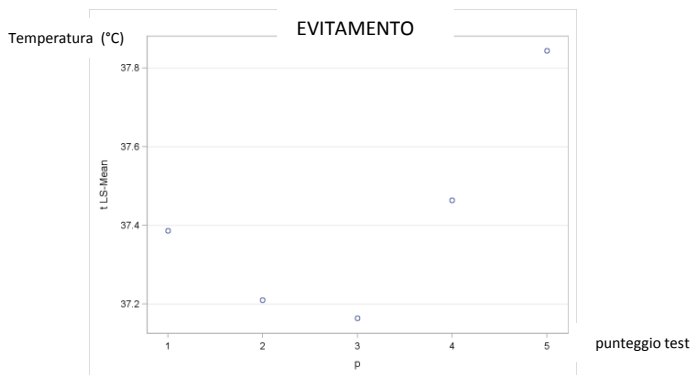
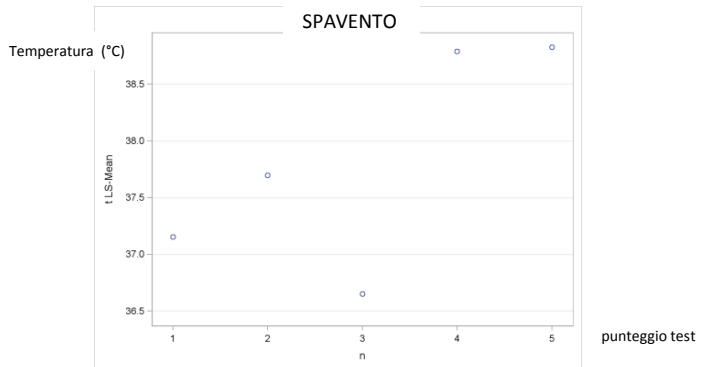


Fig. 60: Grafici relativi alla relazione tra la temperatura e tre delle quattro variabili del test 'rumore metallico'.

Per ogni test comportamentale effettuato è stato poi realizzato un video termografico da cui è stato possibile estrarre le temperature massime rilevate in corrispondenza delle zone periorcari, auricolari e della bocca degli animali (Fig. 61). L'analisi dei dati termici esportati dai video termografici è tuttora in corso.

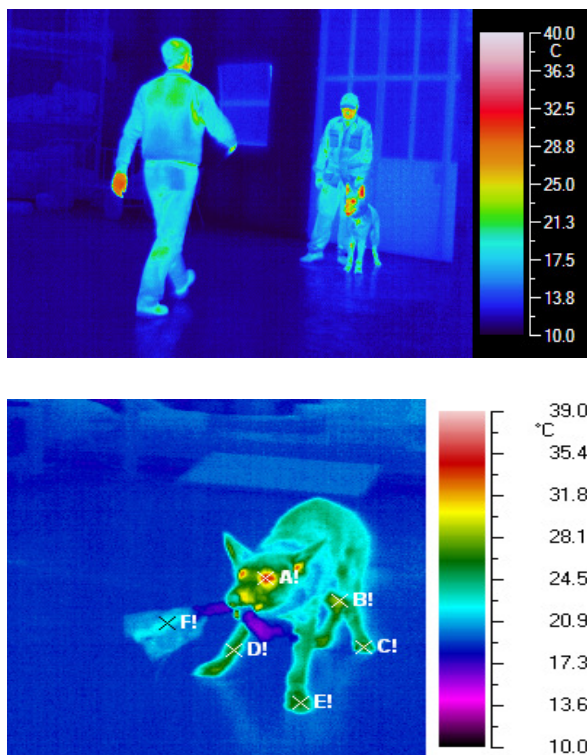


Fig. 61: Esempi di fotogrammi esportati da uno dei video termografici realizzati durante i test comportamentali (Dipartimento di Scienze Animali – Università degli Studi di Milano, 2008)

Conclusioni e prospettive

E' stato effettivamente possibile realizzare i video termografici durante i test comportamentali; nessuna interazione è stata necessaria tra operatore termografico e animali, confermando così la non invasività del sistema sviluppato che, oltre alle informazioni comportamentali dei soggetti esaminati, fornisce anche informazioni sulla variazione della temperatura cutanea durante il test, nello stesso cane, e tra soggetti diversi.

Per quanto riguarda i rilievi di temperatura effettuati durante il prelievo ematico, la differenza riscontrata tra i sessi potrebbe essere legata alle differenze di concentrazione di alcuni neurotrasmettitori (in particolare la Ldopa plasmatica) rilevate tra individui di sesso diverso. Sono necessarie ulteriori indagini più approfondite per confermare i risultati ottenuti e per valutare meglio la complessa struttura della relazione tra comportamento e neurotrasmettitori.

In questa direzione le relazioni ottenute tra temperature rilevate e punteggi ottenuti dagli animali durante il test comportamentale, pur necessitando di ulteriori conferme, lasciano bene sperare in un effettivo utilizzo della termografia come tecnica non invasiva per il rilievo oggettivo dello stato di benessere dell'animale.

Cap.8 – Video termografici di cavalli sportivi durante test da sforzo su treadmill ad alta velocità

Contesto

Il termine sindrome da poor performance è usato per descrivere un insieme di sintomi che non hanno una eziologia precisa e portano alla riduzione delle prestazioni e al disadattamento cronico nei cavalli sportivi; si tratta quindi di una condizione con una difficile gestione clinica che spesso conduce a una grave perdita economica; nonostante ciò, i meccanismi di sviluppo di questa patologia sono ancora poco conosciuti.

In particolare, cavalli affetti da patologie sub-cliniche o non adeguatamente allenati, possono rispondere con un maggiore sforzo muscolare, cardiaco e respiratorio, rispetto a soggetti ben allenati, quando sottoposti a test da sforzo. Inoltre, a parità di condizione fisica e allenamento, è possibile che soggetti particolarmente nervosi o stressati possano avere prestazioni inferiori rispetto agli altri.

Al fine di consentire una diagnosi corretta, è molto importante che gli animali non siano disturbati da strumenti e/o metodiche invasive, per evitare cambiamenti nelle risposte sia comportamentali che fisiologiche.

La tecnica termografica, essendo un metodo non invasivo, può soddisfare questi requisiti; inoltre, consente allo stesso tempo una migliore comprensione dei cambiamenti nel flusso sanguigno

muscolare e della termoregolazione dell'animale, così come l'individuazione precoce di infiammazioni correlate ad eventuali disturbi muscolo scheletrici non manifesti. Infatti, fino ad ora, single immagini termografiche sono state utilizzate in medicina veterinaria come metodo diagnostico nei cavalli sportivi per diagnosi di zoppia, infiammazioni (Turner, 2001 - Yanmaz et al, 2007.) e disturbi muscolari (Turner, 2001), o relativi alla colonna vertebrale (Fonseca et al., 2006). In questi casi, la termografia è stata usata con successo come supporto alla procedura diagnostica.

Scopo della ricerca

L'obiettivo della presente ricerca è quello di verificare se sia possibile registrare correttamente video termografici di cavalli sportivi durante test da sforzo su treadmill ad alta velocità, al fine di utilizzare le informazioni ottenute per una migliore gestione dei cavalli colpiti da poor performance.

Materiali e metodi

I test sono stati effettuati in collaborazione con il Centro di Medicina del Cavallo presso l'Ospedale Veterinario di Lodi, in locale climatizzato, dove è stato possibile controllare i parametri ambientali di temperatura, umidità e ventilazione. I soggetti che sono entrati nello studio sono stati complessivamente 7, di cui 6

trottatori in attività affetti da poor performance ma clinicamente sani, sia maschi che femmine e un trottatore non più in attività, maschio, attualmente utilizzato nella struttura come cavallo didattico. Complessivamente sono state svolte 10 prove, come riportato nella Tabella in Fig.62. Gli animali sono stati sottoposti allo stesso tipo di test della durata di 12 minuti, con velocità del treadmill crescenti secondo le differenti andature richieste; in particolare sono state distinte le 4 fasi seguenti: passo, trotto, galoppo e recupero al passo.

Solamente due soggetti, i cavalli A e 2909 hanno effettuato anche dei test differenti: il soggetto A è stato sottoposto ad una ulteriore sequenza di trotto e recupero, dopo la fase di recupero di un test uguale agli altri cavalli; il soggetto 2909 ha galoppato per 10 minuti più a lungo degli altri cavalli (Fig.62).

Due termocamere sono state montate su supporti ad una distanza di circa 4 metri dagli animali e collegate a personal computer per permetterne un controllo a distanza e la registrazione dei file ottenuti. I video sono stati presi per tutta la durata della prova: mentre una macchina ha sempre ripreso il cavallo da una posizione laterale, con l'altra sono state provate differenti angolazioni, anche da una posizione dorsale (Fig. 63 e Fig.64).

HORSE	N° DI PROVE
A	1
B	1
2709	2
2909	2
2809	1
3709	2
5609	1

Fig.62 Soggetti che sono entrati nello studio e numero di prove sostenute

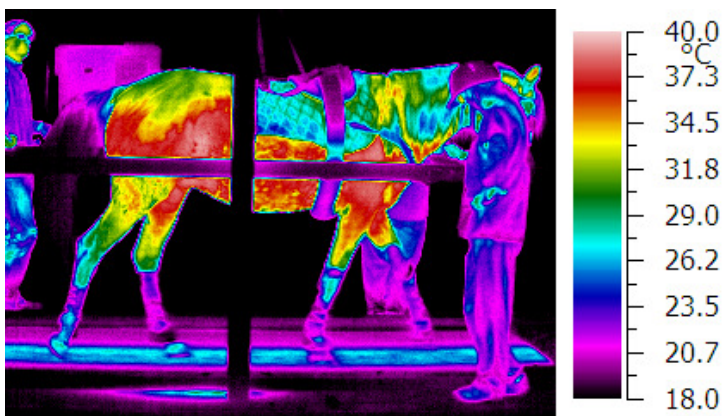


Fig. 63 : Termografia di un cavallo su treadmill ad alta velocità da posizione laterale (Dipartimento di Scienze Animali – Università degli Studi di Milano, 2009)

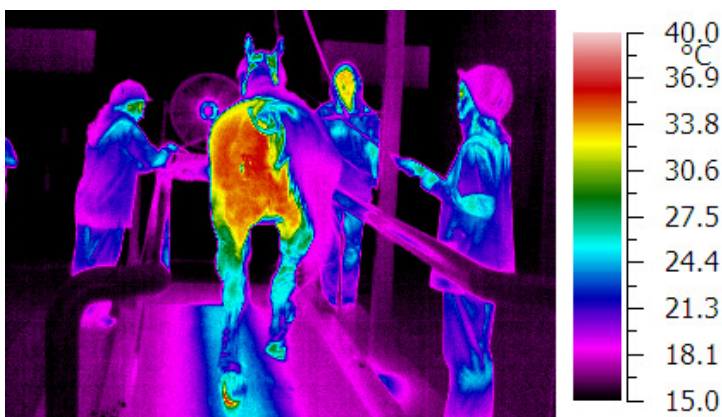


Fig. 64 : Termografia di un cavallo su treadmill ad alta velocità da posizione dorsale (Dipartimento di Scienze Animali - Università degli Studi di Milano, 2009)

Il frame rate degli strumenti è stato fissato a 30 fps; alcuni video sono stati presi alcuni minuti prima e dopo la prova, al fine di registrare le condizioni di riposo. I file ottenuti sono stati analizzati con un software dedicato.

Risultati ottenuti

Siamo effettivamente riusciti ad ottenere nove video termografici digitali dei cavalli durante lo sforzo su treadmill ed è stato possibile valutare il processo di riscaldamento delle differenti regioni del corpo degli animali, a seconda delle diverse andature.

Come previsto, per tutti i soggetti considerati, le zone maggiormente interessate dai cambiamenti di temperatura sono state le spalle e la muscolatura posteriore.

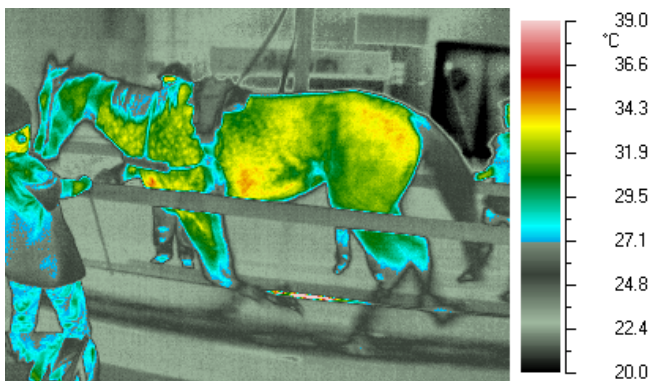


Fig. 64 : Termografia di un cavallo su treadmill durante l'allenamento (Dipartimento di Scienze Animali - Università degli Studi di Milano, 2009)

Per l'analisi, è stato scelto il punto di vista laterale ed è stata selezionata un'area di interesse sull'animale (area del cavallo colorata in Fig.64) che escludesse la parte bassa degli arti e la coda. Il grafico riportato in Fig.65 mostra l'evoluzione dei valori di temperatura cutanea media e massima registrati in corrispondenza dell'area selezionata. Il trend termico è rappresentato da successivi livelli, indicati con colori diversi, ognuno dei quali riflette una diversa andatura.

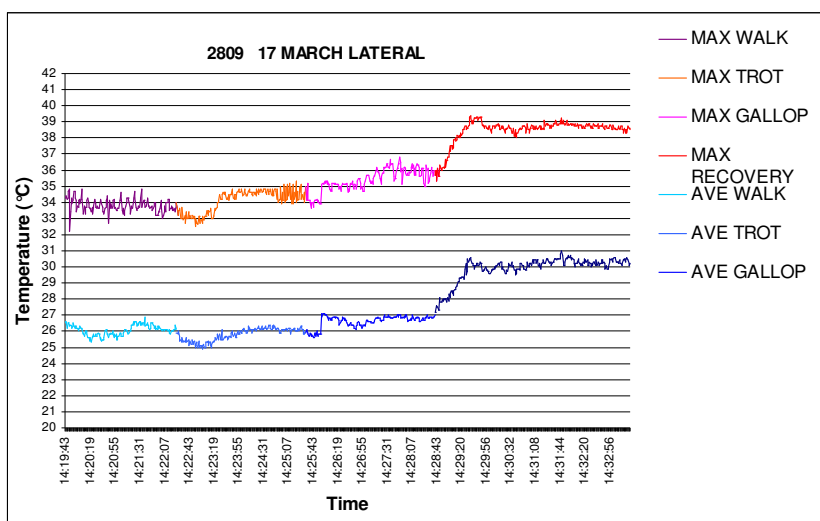


Fig. 65 : Evoluzione dei valori di temperatura cutanea media e massima di un soggetto durante uno dei test effettuati (Dipartimento di Scienze Animali – Milano, 2009)

Durante il passo e il trotto, tutti i cavalli presentano simili valori di temperatura simili e dipendenti dalle condizioni ambientali; temperature più elevate sono state registrate al galoppo e le

temperature massime sono state trovate durante la fase di recupero finale al passo.

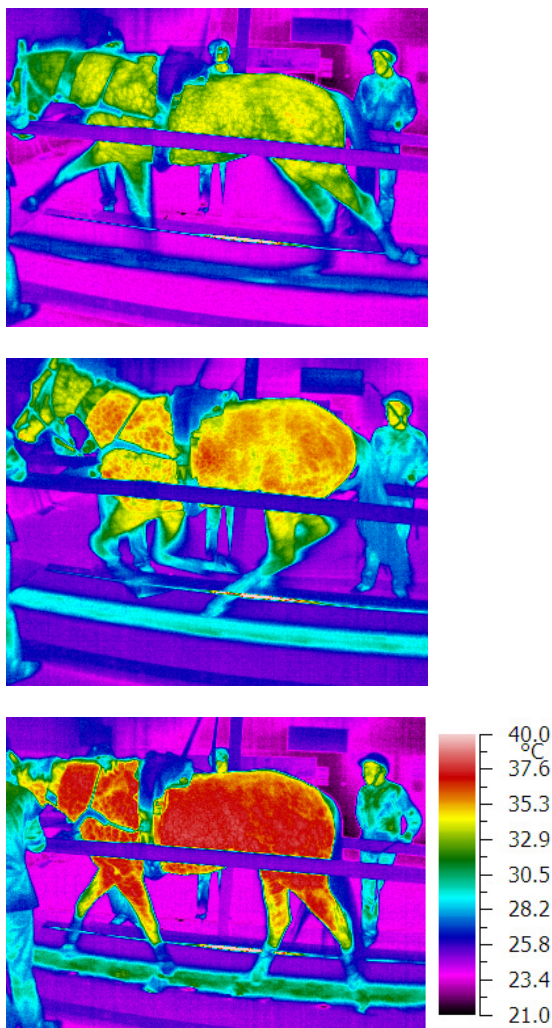


Fig. 66: Immagini realizzate nelle diverse fasi del test (partendo dall'alto: trotto, galoppo, recupero) che mostrano l'aumento delle temperature cutanee. (Dipartimento di Scienze Animali - Università degli Studi di Milano, 2009)

Se si calcolano le temperature medie per ogni livello, quindi per ogni andatura tenuta durante il test, si ottengono i valori riportati nella Tabella in Fig.67 e nel grafico in Fig.68.

Horse	Walk	Trot	Gall op	Recov ery	Trot after first recovery	Final recovery	Environ mental Temp.
A	33.2	33.6		37.9	36.6	37.9	13.1
B	32.6	31.2	34.7	38.7			12.6
5609	33.1	32.9	33.5	39.1			16.5
3709	36.1	34.2	34.9	37.7			19.8
2909	33.8	34.8	36.0	37.8			20.4
2809	33.8	34.1	34.0	35.4			18.0
2909	34.1	34.9	36.8	40.1			19.3
2709	35.1	35.0	35.1	37.7			18.0
2709	34.6	34.6	35.8	38.9			20.9

Fig. 67: Media (°C) per ciascuna fase del test delle massime temperature rilevate per ogni soggetto

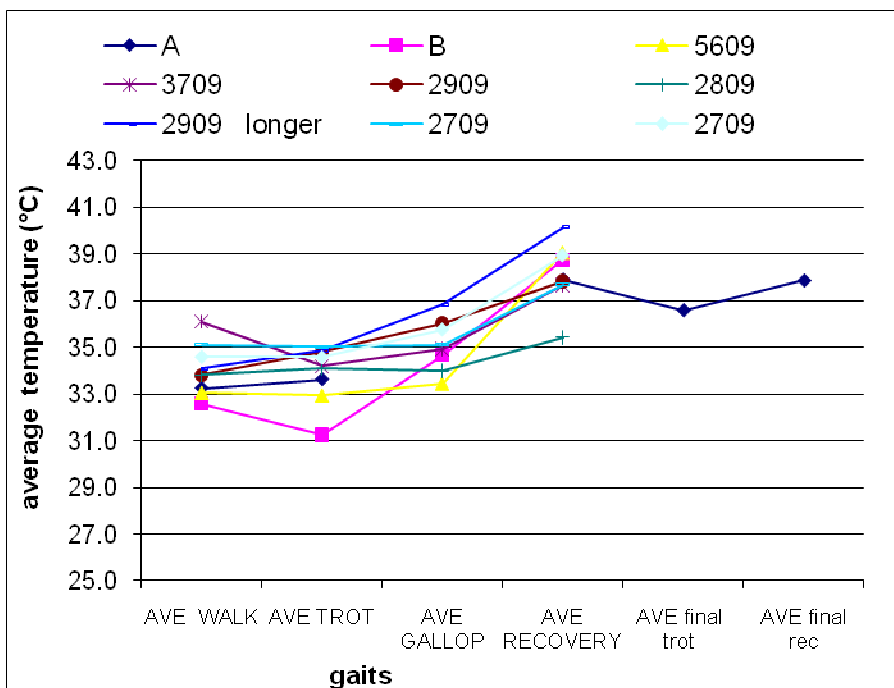


Fig. 68: Grafico delle media delle massime temperature (°C) rilevate per ciascuna fase del test

Per eliminare l'influenza delle condizioni ambientali, le temperature ottenute e riportate nella tabella precedente sono state confrontate con quelle che il cavallo aveva all'inizio del test durante la fase di passo. I risultati sono riportati in Fig.69 e in Fig.70.

Horse	Walk	Trot	Gallop	Recovery	Trot after first recovery	Final recovery	Environment. Temp.
A	33.2	0.4		4.7	3.3	4.6	13.1
B	32.6	-1.3	2.1	6.1			12.6
5609	33.1	-0.1	0.4	6.0			16.5
3709	36.1	-1.9	-1.2	1.6			19.8
2909	33.8	1.0	2.2	4.0			20.4
2809	33.8	0.3	0.2	1.6			18.0
2909L	34.1	0.8	2.7	6.1			19.3
2709a	35.1	-0.1	0.0	2.6			18.0
2709b	34.6	0.0	1.2	4.4			20.9

Fig. 69: Differenza tra la media delle massime temperature raggiunte durante ciascuna fase e quella raggiunta nella fase di passo.

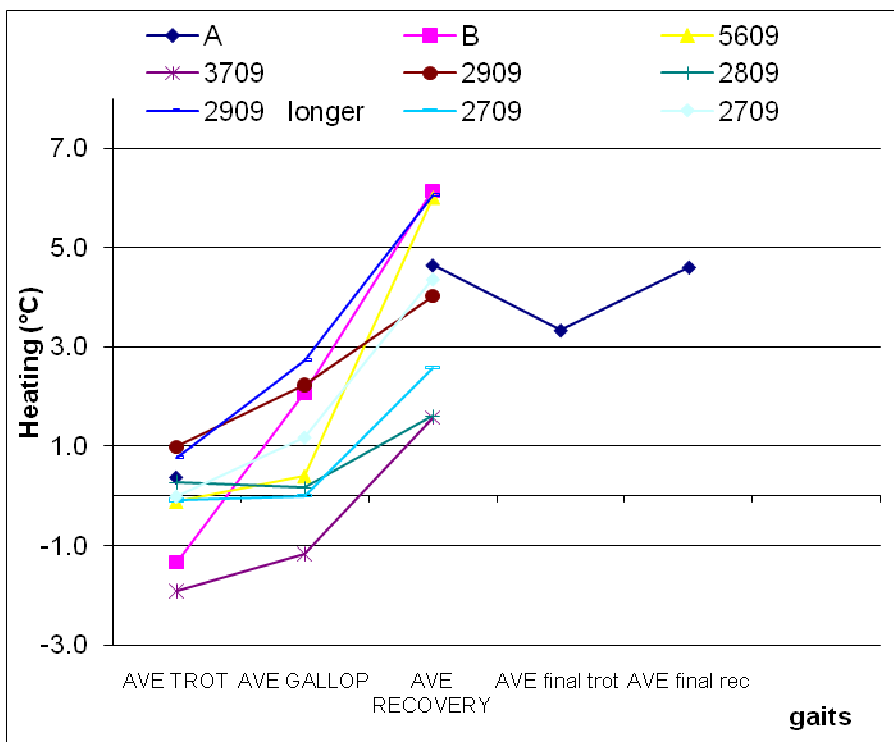


Fig. 70: Differenza tra la media delle massime temperature raggiunte durante ciascuna fase e quella raggiunta nella fase di passo.

In particolare, soggetti che hanno raggiunto le temperature più alte sono stati:

- il soggetto B, che è il cavallo didattico
- il soggetto 2909, quando ha effettuato 10 minuti dai galoppo in più rispetto agli altri soggetti

- il soggetto 5609, che non presentava alcun motivo apparente

E' da segnalare come il soggetto A, nonostante abbia effettuato una ulteriore sequenza di galoppo e passo alla fine del test, non abbia raggiunto temperature particolarmente elevate.

Conclusioni e prospettive

Nella presente ricerca siamo effettivamente riusciti a realizzare video termografici di tutti i soggetti sottoposti a test da sforzo su treadmill ad alta velocità da diverse angolazioni ed è stato possibile valutare il riscaldamento delle differenti aree del corpo. I valori di temperatura ottenuti da un punto di vista laterale hanno mostrato un andamento crescente a step successivi che si è ripetuto per tutti i cavalli.

Il prossimo sviluppo dovrebbero consistere nella ottimizzazione e standardizzazione della tecnica e nella definizione dei range di temperatura corrispondenti alle diverse condizioni di allenamento, operando su un numero maggiore di animali in buone condizioni e ben allenati. In tale modo le informazioni ottenute sulla evoluzione della temperature cutanee durante lo sforzo fisico sarebbero molto utili per ottimizzare l'allenamento e le prestazioni dei cavalli sportivi, permettendo di riconoscere in modo oggettivo di riconoscere quando un cavallo è nell'intervallo corrispondente ad una buona condizione o meno. Inoltre, potrebbero consentire una migliore comprensione dei cambiamenti nel flusso sanguigno

muscolare e della termoregolazione sotto sforzo, così come l'individuazione precoce di infiammazione legati ai disturbi muscoloscheletrici.

L'uso contemporaneo di altre variabile fisiologiche (heart rate variability, prelievi di sangue, indagini ecografiche,...) permetterebbe probabilmente di trovare le spiegazioni per le eventuali anomalie termiche rilevate.

Inoltre, dalle misure effettuate è stato rilevato che la temperatura ambientale influenza la temperatura cutanea iniziale dell'animale, ma sembrerebbe che influenzi anche la massima temperatura finale raggiunta durante la fase di recupero: ulteriori misure potrebbe verificare tale ipotesi.

Cap. 9 – La termografia come tecnica alternativa per la misura della temperatura nel topo nudo

Contesto

La misura di fenomeni di termogenesi è stata ampiamente utilizzata per stimare l'energia usata o prodotta da processi fisiologici di animali vivi e controllare i processi anabolici e catabolici in animali da laboratorio attraverso il monitoraggio dei cambiamenti di temperatura della pelle.

La disponibilità di sistemi di imaging nell'infrarosso ad alta risoluzione, con costi relativamente bassi e software di analisi relativamente facili da usare, potrebbe rendere la termografia (IRT), un interessante strumento per misurare le temperature corporee durante il controllo sanitario di routine.

D'altra parte i sistemi attualmente utilizzati per la misura delle temperature (sonda rettale) sono sicuramente invasivi per animali dalle dimensioni ridotte come quelli da laboratorio.

In precedenti ricerche, la tecnica termografica è stata utilizzata per indagare le reazioni fisiologiche in risposta a stimoli di stress acuto, lavorando sia sulla coda del ratto sia sul padiglione auricolare del coniglio (Blessing & Seaman, 2003). Più recentemente, è stata verificata la presenza di cambiamenti vascolari in risposta a stimoli di paura nel ratto (Vianna e Carrive 2005). Tali Autori hanno riscontrato una diminuzione della temperatura a livello della coda e a livello podale; al contrario, la temperatura dell'occhio, della testa e del dorso è aumentata.

Scopo della ricerca

Lo scopo di questo studio è stato quello di confermare la possibilità di ottenere registrazioni affidabili e coerenti di modifiche della temperatura superficiale della pelle nei topi nudi, in previsione di un utilizzo del metodo nei controlli sanitari di routine

Materiali e metodi

I rilievi termografici sono stati eseguiti in collaborazione con la Siena Biotech - Siena in due giorni consecutivi e in due sessioni separate (mattino /pomeriggio), su topi femmina CD1 Nudo, di età compresa tra 4 e 8 settimane (Charles River, Italia).

Gli animali erano ospitati a gruppi di 5 in gabbie commerciali IVC (Sealsafe Plus, Tecniplast, Italia) e mantenuti in condizioni ambientali controllate standard (temperatura 22°C, umidità relativa 50%).

Le immagini termografiche sono state realizzate utilizzando la termocamera in dotazione da una posizione sopraelevata rispetto alla gabbia ad una distanza di circa 40 cm; sono state registrate immagini singole ad un intervallo di 30 secondi una dall'altra per un tempo di 5 minuti per ogni fase della sperimentazione. Le immagini sono state poi analizzate per rilevare la distribuzione dei valori di temperatura in corrispondenza della cute degli animali.



Fig. 71: Immagine della gabbia contenente cinque soggetti, ripresa dallo stesso punto di vista della termocamera (Dipartimento di Scienze Animali – Università degli Studi di Milano, 2010).

Oltre alle registrazioni in condizione basale (22°C, 50%), sono stati effettuati alcuni rilievi anche in condizione di ipertermia e di ipotermia. La condizione di ipertermia è stata realizzata mediante irraggiamento con lampada ad infrarosso per un intervallo di tempo di 20 minuti; la condizione di ipotermia è stata invece riprodotta mediante anestesia con isofluorano.

E' stata stimata sia la variabilità interindividuale, sia la variabilità fra gruppi di animali.

Poiché il materiale plastico delle gabbie non è trasparente alla radiazione infrarossa, le riprese sono state effettuate con gli animali

all'interno delle loro gabbie, ma a queste era stato levato il coperchio.

Per permetterne il riconoscimento, i singoli animali sono stati identificati con segni distintivi sulla coda.

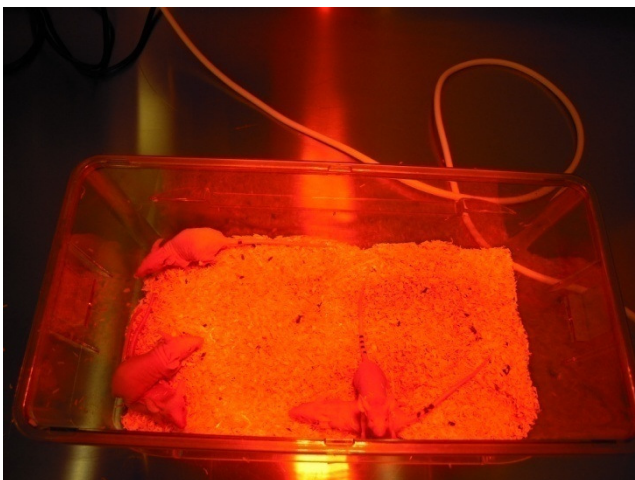


Fig. 72: Immagine della gabbia contenente cinque soggetti, ripresa durante la condizione di ipertermia (Dipartimento di Scienze Animali – Università degli Studi di Milano, 2010).



Fig. 73: Immagine dei cinque soggetti, ripresa durante la fase di anestesia con isofluorano (Dipartimento di Scienze Animali – Università degli Studi di Milano, 2010).

Risultati ottenuti

Nei rilievi effettuati in condizione basale, la massima temperatura rilevata a livello cutaneo ha mostrato una variabilità accettabile all'interno dello stesso animale (Fig. 76), con un CV% compreso tra 0,8-1,2. Inoltre, la massima temperatura è sempre stata rilevata nella regione interscapolare, in corrispondenza della zona dove è posizionato il grasso bruno (iBAT) normalmente coinvolto nella termogenesi nei roditori (Fig.74).

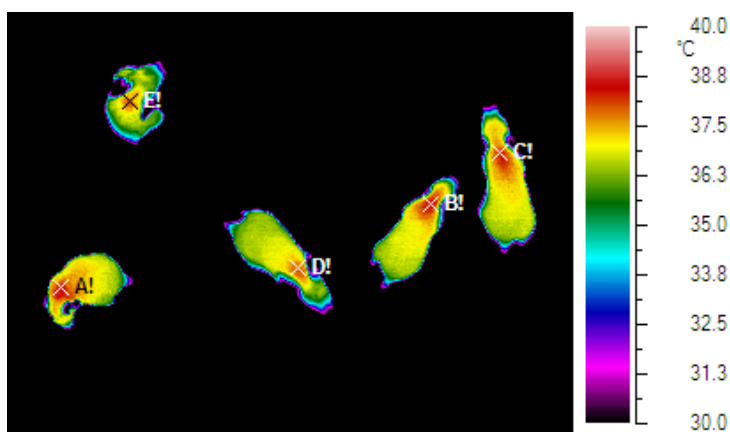
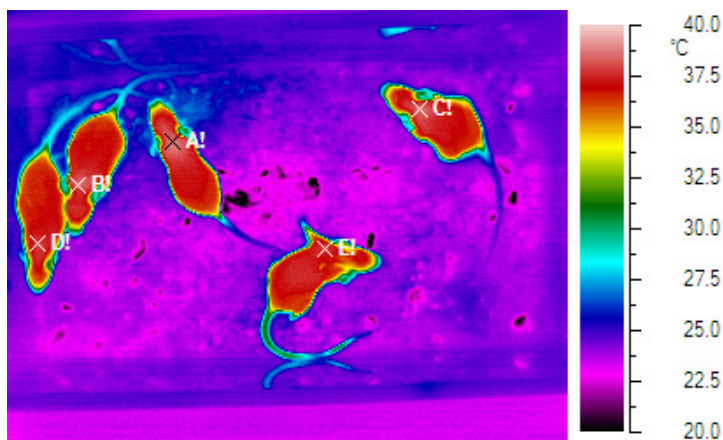


Fig. 74: Immagine termografica riportata con due scale termiche differenti effettuata in condizione basale. Sono indicati i punti di massima temperatura. (Dipartimento di Scienze Animali – Università degli Studi di Milano, 2010).

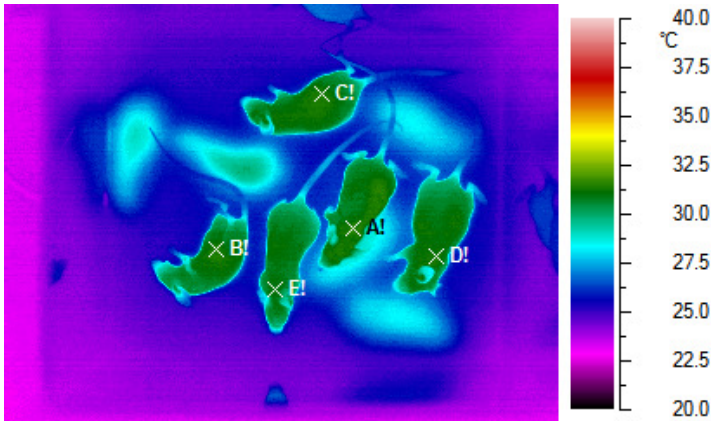
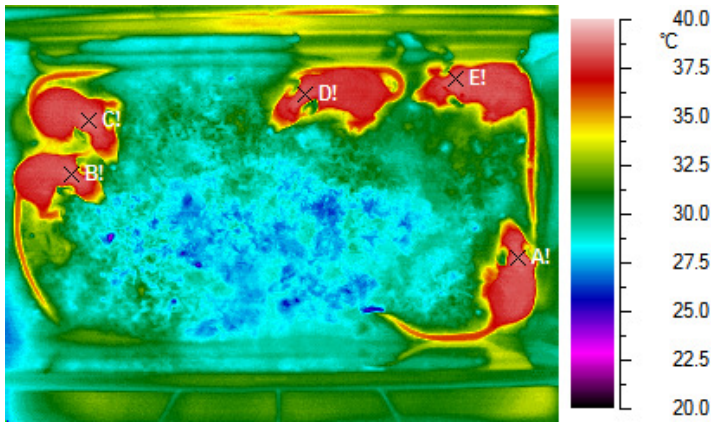


Fig. 75: Immagini termografiche realizzate durante la condizione di ipertermia (in alto) e di ipotermia (in basso) (Dipartimento di Scienze Animali – Università degli Studi di Milano, 2010).

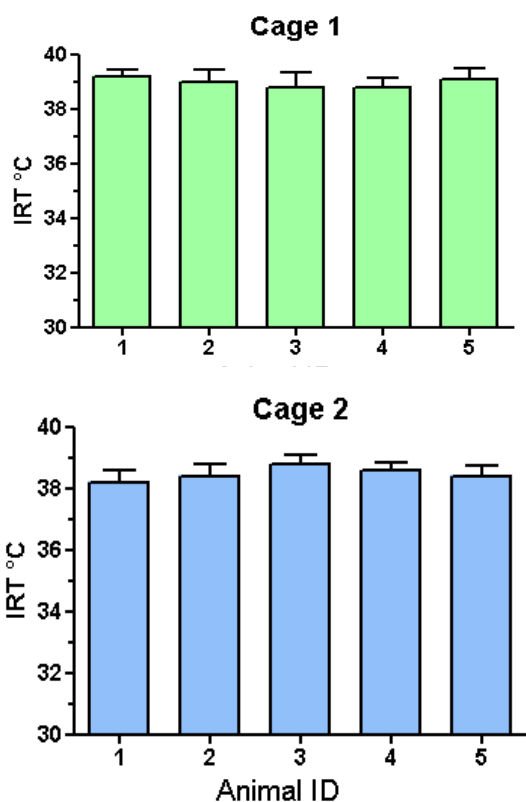


Fig. 76: Valori medi della massima temperatura misurata in corrispondenza del grasso bruno di ciascun soggetto. Mean individual values \pm SEM; n=10 datapoints per animal

Come si può notare dal grafico riportato in Fig.77 la variabilità per la stessa gabbia-gruppo tra due rilievi effettuati in giorni consecutivi è stato trascurabile

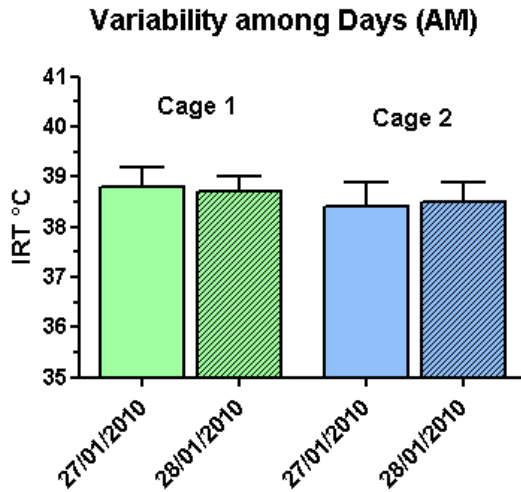
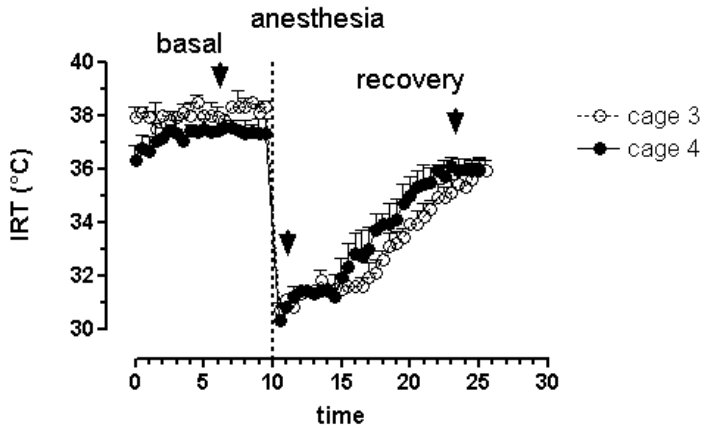


Fig. 77: Confronto tra i risultati ottenuti per due gabbie in giorni diversi. Mean cage values \pm SD; n=100 datapoints per cage

I rilievi effettuati in condizioni di ipotermia e ipertermia hanno consentito di seguire nel tempo le variazioni della temperatura cutanea durante le diverse fasi dei due processi (Fig.78). A seguito dell’anestesia, la temperatura cutanea si è abbassata di circa 8 °C e dopo un intervallo di un quarto d’ora dalla fine del processo era ancora inferiore di circa 2°C rispetto allo stato basale. Durante il processo di ipertermia, la massima temperatura cutanea rilevata si è innalzata di circa 2°C per poi rimanere stabile; dopo 10 minuti dalla fine della sollecitazione termica , i valori di temperatura erano tornati allo stato basale.

Isoflurane anesthesia



IR Heating Lamp

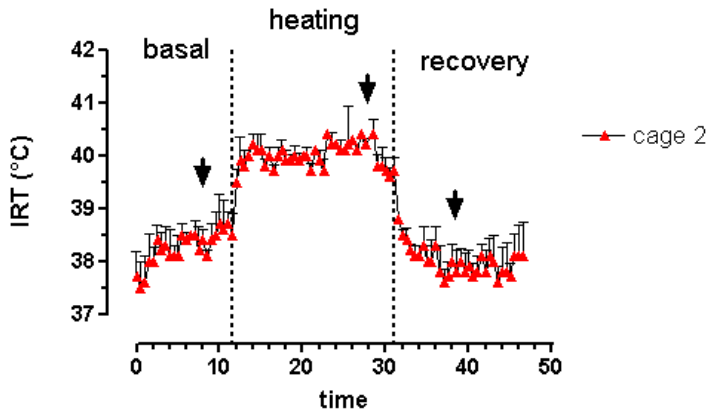


Fig. 78: Trend della massima temperatura cutanea rilevata durante le fasi di anestesia, ipertemia e i rispettivi recuperi

Conclusioni e prospettive

La termografia ha permesso l'identificazione di quell'area calda nella zona dorsale dei soggetti, che coincide con il tessuto che viene chiamato grasso bruno e che è coinvolto nella termogenesi dei roditori.

Le misure effettuate in giornate diverse si sono dimostrate consistenti e ripetibili ed è stato possibile definire il comportamento termico del tessuto bruno e della cute anche in condizioni di ipotermia e ipertermia.

I nostri risultati hanno confermato l'attendibilità dei rilievi termografici ed il forte interesse verso una standardizzazione della metodologia per permetterne un utilizzo nei controlli sanitari di routine.

Ulteriori sperimentazioni devono essere effettuate rilevando in contemporanea sia la temperatura cutanea mediante termografia che quella corporea con sonda rettale, al fine di definire le relazioni esistenti tra di esse.

L'unico ostacolo allo stato attuale ad una automatizzazione del sistema per l'utilizzo all'interno delle strutture di stabulazione sembra essere il materiale di cui sono costituite le gabbie attualmente in commercio, poiché non è trasparente alla radiazione infrarosso ed è quindi necessario levare il coperchio per effettuare le misure.

Cap. 10 – Conclusioni e prospettive

Nell'ambito delle indagini sugli animali, la termografia è una nuova tecnica non invasiva, allo stato attuale applicata principalmente all'individuazione di infiammazioni o patologie che si manifestino con alterazioni della temperatura cutanea.

Dall'esperienza maturata durante queste prove sperimentali possiamo sostenere che la rapidità d'uso, l'elevata risoluzione termica della strumentazione (superiore al decimo di grado) e la possibilità d'impiego in modo totalmente non invasivo, ne fanno in effettivamente una tecnica molto promettente. Tuttavia, poiché il dato rilevato, cioè la temperatura, è riferito alla parte più esterna dell'animale (pelle, pelo, piume o pelliccia), al di là dell'identificazione delle infiammazioni superficiali essa non costituisce di per sé un dato significativo dal punto di vista diagnostico, ma va interpretata alla luce dei fenomeni fisici (conduzione del calore, irraggiamento, raffreddamento) e fisiologici (metabolismo) che la determinano e che siano in qualche modo correlabili alle patologie o agli stati psicofisici dell'animale.

E' inoltre necessario tenere conto di tutti quei fattori di disturbo, spesso presenti in ambito zootecnico, che potrebbero alterare la risposta termica, quali pelliccia, sporco, umidità, nonché del fatto che il continuo movimento degli animali, soprattutto nel caso delle specie da affezione, mette spesso alla prova la pazienza dell'operatore termografico; per risolvere questo problema durante alcune sperimentazioni da noi effettuate, si è rivelato molto utile

l'utilizzo del video termografico, invece del rilievo di singole immagini. Questa metodica si è inoltre rivelata particolarmente interessante per lo studio e il miglioramento dell'efficacia di alcune pratiche zootecniche che richiedono il monitoraggio di variazioni termiche rapide, come nel caso della molatura dei denti in suinetti.

Un altro aspetto della tecnica termografica che riteniamo importante è stata la sua capacità di fornire informazioni non tanto di carattere anatomico, ma soprattutto di carattere fisiologico, che in genere non sono ottenibili altrimenti; essa può infatti fornire un'immagine dinamica in tempo reale della parte in esame, rilevandone i cambiamenti nel corso del tempo, anche se non è in grado di fornire informazioni ad esempio sull'eziologia della patologia in esame o, appunto, anatomiche.

Un'altro aspetto di questa tecnica che riteniamo porterà sicuramente a futuri sviluppi è il suo carattere preventivo: essa è stata in grado di evidenziare alterazioni che non avevano ancora dato segni clinici in soggetti apparentemente sani; questa caratteristica si è rivelata molto utile nel caso degli stati infiammatori a carico del piede in bovini ed equini, dove spesso la zoppia non era associata a un solo problema, ma dovuta ad un insieme di concause e seguita da effetti secondari, ad esempio asimmetrie e affaticamento di alcune fasce muscolari, che sono risultate individuabili con l'aiuto della termografia.

Un altro ambito giudicato particolarmente promettente è la possibilità di utilizzare la termografia all'interno dei camion da trasporto di animali vivi; le prime esperienze svolte in questo ambito sono state molto positive, anche se un'applicazione del sistema per controlli di routine presuppone il superamento di alcuni problemi

logistici, quali il posizionamento della strumentazione in condizioni di sicurezza per sé e per gli animali, la disponibilità di corrente elettrica durante l'intera durata delle riprese e, non ultima, la presenza di forti vibrazioni dovute al mezzo di trasporto.

Per quanto riguarda la possibilità di utilizzare la termografia per il controllo di eventuali condizioni di stress, la zona più adatta al rilievo della temperatura si è dimostrata essere l'area perioculare; nel corso di misure effettuate per la specie equina, e' stata effettivamente verificata la presenza di fenomeni di vasocostrizione periferica che hanno portato ad una diminuzione della temperatura cutanea in soggetti giudicati stressati. Inoltre, le relazioni individuate nella specie canina tra le temperature rilevate e alcune variabili comportamentali, fanno bene sperare per un effettivo impiego della tecnica per la valutazione non invasiva dello stato di benessere dell'animale.

I risultati hanno mostrato un buon grado di ripetibilità e forniscono una ragionevole aspettativa sulla possibilità di utilizzare effettivamente questo metodo in condizioni di controlli di routine, ma, poiché le variazioni di temperatura rilevate nel caso delle sperimentazioni relative a condizioni di stress risultano in genere inferiori al grado centigrado, sono fondamentali in questo ambito le caratteristiche del set up sperimentale e delle procedure utilizzate, al fine di garantire il grado di precisione necessario durante le misure. Non e' inoltre da sottovalutare la presenza di un certo grado di variabilità, imputabile sia alla variabilità individuale degli animali, sia a reazioni immediate generate da stimoli ambientali improvvisi non controllabili (se non nelle rigide condizioni di un laboratorio), sia al continuo movimento dell'animale. La disponibilità di dati

relativi alle varie specie in condizioni basali sarebbe quindi un fattore fondamentale cui fare riferimento per poter applicare in modo ottimale questa tecnica non invasiva.

La possibilità di una corretta analisi delle temperature rilevate presuppone l'utilizzo, oltre che di una termocamera di ultima generazione, anche di un software dedicato all'analisi delle immagini termografiche, che garantisca precisioni dell'ordine dei decimi di grado e possibilmente in grado di compiere l'identificazione delle aree significative nelle immagini attraverso un procedimento automatico. Lo sviluppo di un programma avanzato che garantisca questi requisiti è tuttora in corso, in collaborazione con il Dipartimento di Fisica dell'Università degli Studi di Milano e, una volta ultimato, permetterà il trattamento di un numero significativo di immagini termografiche di soggetti in movimento in tempi molto più rapidi rispetto a quelli attuali.

Cap. 11 – Bibliografia citata e consultata

- Ader, R., Cohen, N., (1993) Psychoneuroimmunology: conditioning and stress, *Annual Review of Psychology*: 44, 53-85.
- Aguggini G., Beghelli V., Clement M. G., Debenedetti A., Facello C., Giulio L. F., Guglielmino R., Lucaroni A., Maffeo G., Marongiu A., Naitana S., Nuvoli P., Piazza R., (1998). *Fisiologia degli Animali Domestici con elementi di Etologia*. UTET, seconda edizione.
- Akselrod S., Lishner M., Oz O., Bernheim J., Ravid M., (1987). Spectral Analysis of fluctuations in heart rate: an objective evaluation of autonomic nervous control in chronic renal failure. *Nephron*, 45: 202-206.
- Argáez-Rodríguez, F. de J., Hird, D. W., de Anda, J. H., Read, D. H. & Rodriguez-Lainz, A. (1997) Papillomatous digital dermatitis on a commercial dairy farm in Mexicali, Mexico: Incidence and effect on reproduction and milk production. *Preventive Veterinary Medicine* 32 275-286.
- Arkins, S. (1981) Lameness in dairy cows. Parts I and II. *Irish Veterinary Journal*. 35 135-140; 163-170.
- Arkins, S., Hannan, J. & Sherington, J. (1986) Effects of formalin footbathing on foot disease and claw quality in dairy cows. *Veterinary Record* 118 580-583.
- Aurich C., Aurich J.E., (2008). Effects of stress on reproductive functions in the horse. *Pferdeheilkunde*, 24: 99-102.
- Autio E., Heiskanen ML, Mononen J (2007) Thermographic evaluation of the lower critical temperature in weanling horses. *Journal of Applied Animal Welfare Science*; 10(3), 207-216.
- Bachmann I., Bernasconi P., Hermann R., Weishaupt M.A., Stauffacher M., (2003). Behavioural and physiological responses to an acute stressor in crib-biting and control horses. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 82: 297–311.
- Baldock N.M., Sibly R.M., Penning P.D., (1988). Behavior and seasonal-variation in heart-rate in domestic sheep, *Ovis aries*. *Anim. Behav.*, 36: 35–43.
- Baldock N.M., Sibly R.M., (1990). Effects of handling and transportation on the heart rate and behaviour of sheep. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 28: 15–39.

- Beerda, B., Schilder, M.B.H., van Hooff, J.A.R.A.M., de Vries, H.W., (1997). Manifestations of chronic and acute stress in dogs. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 52, 307–319.
- Bell, E.M. & Miller, A.M. (1977) Lameness in cattle. Interim Report Edinburgh School of Agriculture 1977.
- Bellei C. (2008). Il cane antidroga: reattività comportamentale e neurotrasmettitori. Tesi del Corso di Laurea in Biotecnologie Veterinarie, Facoltà di Medicina Veterinaria, Università degli Studi di Milano.
- Berg, J.N. & Loan, R.W. (1975) *Fusobacterium necrophorum* and *Bacteroides melaninogenicus* etiological agents of foot rot in cattle. *American Journal of Veterinary Research* 36 1115-1122.
- Berg, J.N. (1981) "Foot rot complex" in cattle. In "Current Veterinary Therapy. Food Animal Practice. First edition. Edited by Howard, J.L. W.B.Saunders, Philadelphia. pp. 1104-1106.
- Berg, J.N., Maas, J.P., Paterson, J.A., Krause, G.F. & Davis, L.E. (1984) Efficacy of ethylenediamine dihydriodide as an agent to prevent experimentally induced bovine foot rot. *American Journal of Veterinary Research* 45 1073-1078.
- Berg, J.N. (1986) "Foot Rot of Cattle". In "Current Veterinary Therapy. Food Animal Practice. Second edition. Edited by Howard, J.L. W.B. Saunders, Philadelphia. pp. 894-895.
- Berg, J. N. & Weaver, A. D. (1994) Bacterial etiology of dis-eases in foot rot complex: Recent research and nomenclature changes. Eighth Symposium on Disorders of the Ruminant Digit and International Conference on Bovine Lameness. Banff, Canada. pp. 51-57.
- Bergsten, C & Pettersson, B. (1992) The cleanliness of cows tied in stalls and the health of their hooves as influenced by the use of electric trainers. *Preventive Veterinary Medicine.* 13 229-238.
- Bergsten, C. (1997) Infectious diseases of the digits. Chapter 7 in "Lameness in Cattle". 3 rd. edition. Edited by Greenough, P.R. & Weaver, A.D. pp. 89-100.
- Berry, R.J., Kennedy, A.D., Scott, S.L., Kyle, B.I. and Schaefer, A.L. (2003) Daily variation in the udder surface temperature of dairy cows measured by infrared thermography: potential for mastitis detection. *Can. J. Anim. Sci.* 83, 687 – 93.
- Bertoni G. (2003) – Dismetabolie puerperali e rapporti con il sistema immunitario, l'attività epatica e la riproduzione. Giornata di Studio SISVet "Iprofertilità bovina: cause e possibili rimedi", Piacenza, 31 maggio 2002. In "La ipofertilità nella bovina da latte", a cura di

- Giuseppe Bertoni, Ed. Fondazione Iniziative Zooprofilattiche e Zootecniche, Brescia: 67-91.
- Berz R., (1998). Regulation Thermography-a survey, QIRT 4-Medical, 18-25.
- Biberstein, E.L., Knight, H.D. & England, K. (1968) Bacteroides melaninogenicus in diseases of domestic animals. Journal of the American Veterinary Medical Association 153 1045-1049.
- Blecha, F., Pollmann, D. S. , Nichols, D. A., (1983) Weaning pigs at an early age decreases cellular immunity. J. Anim. Sci, 56: pp.396-400.
- Blennow, K.A., Wallin, C. G., Gottfries, I., Karisson, J., Mansonn, E., I. Skoog, I., Wikkelsö, C., Svennerholm, E L., (1993). Cerebrospinal fluid monoamine metabolites in 114 healthy individuals 18-88 years of age, European Neuropsychopharmacology, Vol.3 Issue1 Page 55-61.
- Blessing, W.W., Seaman, B. (2003) 5-Hydroxytryptamine_{2A} receptors regulate sympathetic nerves constricting the cutaneous vascular bed in rabbits and rats. Neuroscience, 117: 939-948. Published by Elsevier Science Ltd.
- Blood, D.C. & Radostits, O.M. (1989) in "Veterinary Medicine". 7 th. edition. Balliere Tindall, London. Interdigital necrobacillosis (foul in the foot, footrot). pp. 743 -746 Infectious footrot of sheep. pp. 746 -750.
- Blowey, R.W. & Sharp, M.W. (1988) Digital dermatitis in dairy cattle. Veterinary Record 122 505-508.
- Blowey, R. W. (1990) Description and diagnosis of superficial digital lesions in dairy cattle. In "Update in Cattle Lameness" Proceedings of the 6th. International Symposium on Diseases of the Ruminant Digit, Liverpool. Edited by Murray, R. pp. 55-58.
- Blowey, R. W., Sharp, M. W. & Done, S.H. (1992) Digital dermatitis. Veterinary Record 131 39.
- Blowey, R.W., Done, S.H. & Cooley, W. (1994) Observations on the pathogenesis of digital dermatitis in cattle. J. Vet. Med. 13 5 115-117.
- Blowey, R.W., Carter, S.D., White, A.G. & Barnes, A. (1994) Borrelia burgdorferi in UK cattle: a possible association with digital dermatitis. Veterinary Record 135 577-578.
- Blowey, R.W. & Done, S.H. (1995) Failure to demonstrate histological changes of digital and interdigital dermatitis in biopsies of slurry heel. Veterinary Record 137 379-380.
- Boelling, D. & Pollott, G. E. (1998) Locomotion, lameness, hoof and leg traits in cattle. I. Phenotypic influences and relationships. Livestock Production Science 54 193-203.
- Boissy A., Manteuffel G., Jensen M., Opperman R., Spruijt B., Keeling L., Winckler C., Forkman B., Dimitrov I., Langbein J., Bakken I., Veissier

- I., Aubert A., (2007). Assessment of positive emotions in animals to improve their welfare. *Physiology & Behavior*, 92: 375-397.
- Booth, J.M. (1989) Lameness and mastitis losses. *Veterinary Record* 125 161.
- Borgmann, I. E., Bailey, J. & Clark, E. G. (1996) Spirochete-associated bovine digital dermatitis. *Canadian Veterinary Journal* 37 35-37.
- Born, GV, Smith, JB., (1970) Uptake, metabolism and release of (3H)-adrenaline by human platelets. *Br J Pharmacol.* 39(4):765-78.
- Bouissou, M. F., (1988) Le Stress Social. *Rec. Med. Vet.*, 164 (10), pp.801-812.
- Brazilier, J. E., (1987) Physiologic basis and consequence of di stress in animals. *JVMA* 191, pp 1212-1215.
- Boyer, p. & Singleton, G. (1998) Digital dermatitis, super-foul and severe necrotic enteritis of the udder in dairy cows. *Veterinary Record* 142 147-148 (Note it should have been dermatitis).
- Briskey, E. J., & Wismer-Pedersen, J. (1961). Biochemistry of pork muscle structure. 1. Rate of anaerobic glycolysis and temperature change versus the apparent structure of muscle tissue. *Journal of Food Science*, 26: 297-305.
- Broom D. M., Johnson K. J., (1993). *Stress and Animal Welfare*. Chapman & Hall, London-New York.
- Canali E., Minero M., (2009). Welfare issues of horses: an overview and practical recommendations. *Italian Journal of Animal Science*, 8: 219-230.
- Carenzi C. and Verga M., 2009, *Animal Welfare: review of the scientific concept and definition*. *Ital. J. Anim. Sci.*, Vol. 8 (Suppl. 1), 21-30.
- Carroll G.L., Matthews N.S., Hartsfield S.M., Slater M.R., Champney T.H., Erickson S.W. (1997). The effect of detomidine and its antagonism with tolazoline on stress-related hormones, metabolites, physiologic responses, and behaviour in awake ponies. *Veterinary Surgery*, 26: 69-77.
- Casas I Holah G, Marlin DJ, Roberts CA, Schroter RC, Scott CM (1998) Post exercise changes in compartmental body temperature accompanying intermittent cold water cooling in the hyperthermic horse. *Equine Veterinary Journal*; 30(1); 28-34.
- Catipovic-Veselica K., Amidzic V., Durijancek J., Kozmar D., Sram M., Glavas B. (1999). Association of heart rate and heart-rate variability with scores on the Emotion Profile Index in patients with acute coronary heart disease. *Psychol Rep.*; 84: 433-42.
- Cheli, R., & Mortellaro, C.M. (1974) La dermatite digitale del bovino. *Proceedings of the 8 th. International Meeting on Diseases of Cattle*,

- Milan, Italy. pp. 208-21
- Chiminelli E., (2009). Utilizzo della tecnica termografica in ippatria. Tesi del Corso di Laurea Magistrale, Facolta' di Medicina Veterinaria, Universita' degli Studi di Milano.
- Clark, A.K. & Rakes, A.H. (1982) Effects of methionine hydroxyl analogue supplementation on dairy cattle hoof growth and composition. *Journal of Dairy Science* 65 1493-1502.
- Clark, B.L., Stewart, D.J. & Emery, D.L. (1985) The role of *Fusobacterium necrophorum* and *Bacteroides melaninogenicus* in the aetiology of interdigital necrobacillosis in cattle. *Australian Veterinary Journal* 62 47-49.
- Clark, B.L., Emery, D.L., Stewart, D.J. (1986) Aetiology and prevention of interdigital necrobacillosis (foot abscess) in cattle. In "Footrot in Ruminants" Proceedings of the Workshop. Melbourne, Australia. Edited by Stewart, D.J., Peterson, J.E., McKern, N.M. & Emery, D.L. Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO) pp. 275-279.
- Clarkson, M.J., Downham, D. Y., Faull, W.B., Murray, R. D., Sutherst, J. E., Ward, W.R., Wheeler, J. E., Manson, F.J., Merritt, J.B., Hughes, J.W., Russell, W.B., Nugent, S.A., Gwynn, P.E.J., Wilkins, R., Briggs, T.J., Howie, N.M., Collick, D.W., Lewis, D.E. & Davis, G.P. (1993) An epidemiological study to determine the risk factors of lameness in dairy cows. University of Liverpool, Faculty of Veterinary Science, CSA 1379. pp. 1-199.
- Clarkson, M.J. (1993) A study of the epidemiology of bovine lameness. *Cattle Practice*. October 1993. pp. 338-343.
- Clarkson, M.J., Downham, D.Y., Faull, W.B., Hughes, J.W., Manson, F.J., Merritt, J.B., Murray, R.D., Russell, W.B., Sutherst, J.E. & Ward, W.R. (1996) Incidence and prevalence of lameness in dairy cattle. *Veterinary Record* 138 563-567.
- Clement F., Barrey E., (1995). Heart rate fluctuations in the horse at rest: (A) Investigation of heart rate changes by spectrum analysis. *C.R. Acad. Sci. III Vie*, 318: 859-65.
- Clement F., Barrey E., (1995). Heart rate fluctuations in the horse at rest: (B) Biological variation factors related to behavioural profile. *C. R. Acad. Sci. III Vie*, 318: 867-72.
- Cocarro, E. F. , Kavoussi, R. J., Sheline, Y.I., Berman, M.E., Csernansky, J.G., (1997) Impulsive aggression in personality disorder correlates with platelet 5-HT_{2a} receptor binding. *Neuropsychopharmacology* 1, 211-216.
- Collick, D. W., Ward, W.R. & Dobson, H. (1989) Associations between

- types of lameness and fertility. *Veterinary Record* 125 103-106.
- Collick, D.W. (1997) Heel horn erosion. Part of Chapter 8 Interdigital Space and Claw. In "Lameness in Cattle" 3 rd. edition. Edited by Greenough, P.R. & Weaver, A.D. W.B. Saunders Company, Philadelphia. pp. 116-118.
- Conny M.A., Van Ravenswaaij A., Louis A.A.K., Hopman J.C.W., Stoelinga G.B.A., Van Geijn H.P., (1993). Heart Rate Variability. *Annals of Internal Medicine*, 118: 436-447.
- Convenzione Europea sulla Protezione degli animali da Allevamento, Strasburgo (1976). Decreto Legislativo 146/200.
- Coulon, J.B., Lascourret, F. & Fonty, A (1996) Effect of feet lesions on milk production by dairy cows. *Journal of Dairy Science* 79 44-49.
- Clutton-Brock, J. (1987) A natural history of domesticated animals, Cambridge Univ. Press, British Museum of Natural History, Cambridge.
- Cook Jr., E.H., Fletcher, K.E., Wainwright, M., Marks, N., Yan, S.Y., Leventhal, B.L.,(1994) Primary structure of the human platelet serotonin 5-HT_{2A} receptor: identify with frontal cortex serotonin 5-HT_{2A} receptor. *J. Neurochem.* 63 (2), 465–469.
- Cross N., Versnel C., Cawdell-Smith J., Phillips C., (2008). Effect of lighting conditions on the welfare of horses being loaded for transportation. *Journal of Veterinary Behavior*, 3: 20-24. Pubbl. By Elsevier.
- Dantzer, R. & Mormende, P., (1979) Physiopathologie de la reaction aux aggression. In: *Le Stress en Elevage Intensif*. Ed. INRS et Masson, Paris.
- Da Prada, M., Cesura, A.M., Launay, J.M., Richards, J.G., (1988) Platelets as a model for neurones? *Experientia* 15; 44 (2), 115–26.
- Da Prada, M., Picotti, G.B., (1979) Content and subcellular localization of catecholamines and 5-hydroxytryptamine in human and animal blood platelets: monoamine distribution between platelets and plasma. *Br. J. Pharmacol.* 65 (4), 653–662.
- Denoix J.M., (1994). Diagnostic techniques for identification and documentation of tendon and ligament injuries: *Veterinary Clinics of North America: Equine Pract.*, 2:365-407.
- Devalle J.M.S., (2005). Comparison of Tympanic, Transponder, and Noncontact Infrared Laser Thermometry with Rectal Thermometry in Strain 13 Guinea Pig (*Cavia porcellus*). *Contemporary Topics* (44),5:35-38.
- Dodman, N.H., Shuster, L., (1998) Psychopharmacology of animal behavior disorders.

- Eager R.A., Norman S.E., Price J., Welsh E., Waran N.K., Martin D.J., (2004). Repeatability, diurnal variation and temperament: factors affecting the use of heart rate variability in horses. Proceeding of the 38th int. Congr. of the ISAE, Helsinki, p. 235.
- Eddy, A.L., van Hoogmoed, L.M. and Snyder, J.R. (2001) The role of thermography in the management of equine lameness. *The Veterinary Journal*, 162(3); 172-181.
- Egerton, J.R. & Laing, E.A. (1978) Characteristics of *Bacteroides nodosus* isolated from cattle. *Veterinary Microbiology* 3 269-278.
- Embaby S., Shamaa A.A., Gohar H.M., (2002). Clinical assessment of thermography as a diagnostic and prognostic tool in horse practice. In: *Proc. Inflammation 2002, Orlando, U.S.A.*, 30-36.
- Emery, D.L., Vaughan, J.A., Clark, B.L., Dufty, J.H. & Stewart, D.J. (1985) Cultural characteristics and virulence of strains of *Fusobacterium necrophorum* isolated from the feet of cattle and sheep. *Australian Veterinary Journal*. 62 43-46.
- Emery, D.L. (1989) Host responses to footrot and foot abscess. In "Footrot and Foot Abscess in Ruminants". Edited by Egerton, J.R., Yong, W.K. & Riffkin, G.G. CRC Press, Boca Raton. pp. 141-153.
- Enevoldsen, C. & Grohn, Y. T. (1991a) Sole ulcers in dairy cattle: associations with season, cow characteristics, disease and production. *Journal of Dairy Science* 74 1284-1298.
- Enevoldsen, C., Grohn, Y.T. & Thysen, I (1991b) Heel erosion and other interdigital disorders in dairy cows: Associations with season, cow characteristics, disease and production. *Journal of Dairy Science* 74 1299-1309.
- Enting, H., Kooij, D., Dijkhuizen, A.A., Huirne, R.B.M & Noordhuizen-Stassen, E.N. (1997) Economic losses due to clinical lameness in dairy cattle. *Livestock Production Science* 49 259-267.
- Epp T, Gaughan EM, Simon EL, Spire M (2006) Influence of exercise on thermographically determined surface temperatures of thoracic and pelvic limbs in horses. *Journal of American Veterinary Medical Association*; 229(12); 1940-1944.
- Espmark Y., Langvatn R., (1985). Development and habituation of cardiac and behavioural-responses in young red deer calves (*Cervus-elaphus*) exposed to alarm stimuli. *J. Mammal*, 66: 702–11.
- Esslemont, R.J. (1990) The cost of lameness in dairy cows. *Proceedings of the VI th. International Symposium on Diseases of the Ruminant Digit, Liverpool*. British Cattle Faye, B., & Lescourret, F (1989) Environmental factors associated with lameness in dairy cattle. *Preventive Veterinary Medicine*. 7 267-287.

- Estepa J.C., Aguilera-Tejero E., Mayer-Valor R., Almaden Y., Felsenfeld A.J., Rodriguez M., (1998). Measurement of parathyroid hormone in horses. *Equine Veterinary Journal*, 30: 476-481.
- Ferrucci F., Stancari G., Zucca E., Ayalon S., Falcone C, Ferro E., (2009). Specificity and sensitivity of ultrasonography and endoscopy for the diagnosis of exercise-induced pulmonary haemorrhage (EIPH) in 157 race horses. *Veterinary Research Communications*, 33: S185-S188.
- Floriani, E., Signorini, F., Bignami, S., Morini, C., Lafelli C., Razzini, P., Ghinzelli, M. (2006). Indagini sulla mortalità dei suini grassi durante il trasporto e nelle stalle di sosta dei macelli. *Large Animal Review*, 12 (2): 29-33.
- Fonseca, B., Alves, A., Nicoletti, J., Thomassian, A., Hussni, C., Mikail, S. (2006) Thermography and ultrasonography in back pain diagnosis of equine athletes. *Journal of Equine Veterinary Science*, Vol. 26, N. 11, pp. 507-516.
- Fornasier, V. Redaelli, A. Tarantino, F. Luzi, M. Verga (2010) Infrared thermography (IRT) in nude mice: an alternative method for body temperature measurement. *Atti Scand FELASA 2010*, Helsinki, June 14-17, 2010.
- Fox, M.W., (1968). *Abnormal Behavior in Animals*. Philadelphia, WB Saunders.
- Franenhaeuser, M., Lundberg U., Rauste Von Wright M., Von Wright J. E Goran S (1986). Urinary monoamine metabolites as indices of mental stress in healthy males and females, *Pharmacology Biochemistry and Behaviour*, Vol.24, Issue 6, Pages 1521-1525.
- Fraser A.F., (1992). *Il comportamento del cavallo*. Pubblicato da Edagricole Essegivi.
- Freeman D.E., Orsini P.G., Ross M.W., Madison J.B., (1990). A large frontonasal bone flap for sinus surgery in the horse. *Veterinary Surgery*, 19: 122-130.
- Frey B., Heger G., Mayer C., Kiegler B., Stohr H., Steurer G., (1996). Heart rate variability in isolated rabbit hearts. *Pace-Pacing and Clinical Electrophysiology*, 19: 1882-1885.
- Friedman B.H., Thayer J.F., (1998). Anxiety and autonomic flexibility: a cardiovascular approach. *Biol. Psychol.*, 47: 243–63.
- Gallois M, Le Cozler Y, Prunier A., (2005). Influence of tooth resection in piglets on welfare and performance. *Preventive Veterinary medicine*, 69. 13-23

- Geor RJ, McCutcheon LJ, (1998) Thermoregulatory adaptations associated with training and heat acclimation. *Veterinary Clinics of North America: equine practice*, 14(1); 97-120.
- Gerken, M. and Barow, U. (1998) Methodical investigation into thermoregulation in suckler cows under field conditions. In: *Proc. 49th Annual Meeting of EAAP, Warsaw, Poland. Vol un.:179.*
- Ghafir Y., Art T., Lekeux P., (1996). Infrared thermography in the study of thermoregulation in the horse: Training effects. *Annales de Medecine Veterinaire*, 140 : 131-135.
- Gingrich, J. A. and Hen, R., (2001) Dissecting the role of the serotonin system in neuropsychiatric disorders using knockout mice. *Psychopharmacology*.
- Godsil B.P., Quinn J.J. and Fanselow M.S., (2000). Body temperature as a conditional response measure for Pavlovian fear conditioning. *Learn. Mem.*, 7:353-356.
- Gonzalez L.A., Correa L.B., Ferret A., Manteca X., Ruiz-de-la-Torre J.L., Calsamiglia S., (2009). Intake, water consumption, ruminal fermentation, and stress response of beef heifers fed after different lengths of delays in the daily feed delivery time. *Journal of Animal Science*, 87: 2709- 2718.
- Goodwin D, (1998). Comparison of body temperatures of goats, horses, and sheep measured with a tympanic infrared thermometer, an implantable microchip transponder, and a rectal thermometer. *Contemp Top Lab Anim Sci*, 37(3): 51–55.
- Gordon, J.L., Olverman, H.J., (1978) 5-Hydroxytryptamine and dopamine transport by rat and human blood platelets. *Br. J.Pharmacol.* 62 (2), 219–226.
- Grandin, T. (1994). Methods to reduce PSE and Bloodsplash. *Proc. Allen D. Leman Swine Confr. University of MN.* 21:206-209.
- Haley, C., Dewey C.E., Widowski T., Friendship, R., (2008). Association between in-transit loss, internal trailer temperature, and distance travelled by Ontario market hogs *Can. J. Vet. Res.*, 72(5): 385-389.
- Harper, D.L. (2000) The value of infrared thermography in a diagnosis and prognosis of injuries in animals. *Proc. Inframation, Orlando, USA. Vol. un.:115-122.*
- Hart, B.L. & Hart, L.A. (1985), *Canine and Feline behavioral Therapy*. Lea e Febiger, Philadelphia.
- Haverbeke, A., Diederich, C., Depiereux, E., Giffroy, J. M., (2008). Cortisol and behavioral responses of working dogs to environmental challenges. *Physiology & Behavior* 93, 59–67.

- Hemsworth, P. H. Coleman, G. J., Barnett, J. L., Borg, S. (2000) Relationships between human-animal interactions and productivity of commercial dairy cows. *J. Anim. Sci*, 78: 2821-2831.
- Henson FMD, Tunleyb BV, (2004) Reliability and repeatability of thermographic examination and the normal thermographic image of the thoracolumbar region in the horses. *Equine Veterinary Journal*, 36(4); 306-312.
- Hoffmann G., Bockisch F. J., Kreimeier P., (2009). Influence of the husbandry system on the movement activity and stress exposure of horses in discharge husbandry systems. *Landbauforschung Volkenrode*, 59: 105-111.
- Huff-Lonergan, E., Lonergan, S. M. (2005). Mechanisms of water holding capacity in meat: The role of postmortem biochemical and structural changes. *Meat Sci.*, 71: 194-204.
- Hurnik, J.F., De Boer, S. and Webster, A.B. (1984) Detection of health disorders in dairy cattle utilizing a thermal infrared scanning technique. *Can. J. Anim. Sci.*, 64: 1071-3.
- Jänig W., (1977). Das vegetative Nervensystem. In: Schmidt RF, Thews G. *Physiologie des Menschen*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 114–45.
- Jenkins W.L., Kruger J.M., (1975). Modern concepts of animal's physiological response to stress. In: Young E. (ED), *Capture and care of wild animals*. Ralph Curtis books, Hollywood, Fla.
- Jiansong, Zhou, Lingjiang, Li, Shaojun, Tang Xia Cao, Zexuan Li, Weihui Li, Changqi Li, Xianghui Zhang. (2009) Effects of serotonin depletion on the hippocampal GR/MR and BDNF expression during the stress adaptation. *Behavioural Brain Research*.
- Johnson, W.P., Algeo, J. & Kleck, J. (1957) The efficacy of chlortetracycline supplementation on the incidence of foot-trot and feedlot performance in cattle. *Veterinary Medicine* 52 375-378.
- Kastberger G. and Stachl R., (2003). Infrared imaging technology and biological applications. *Behav. Res. Meth. Instrum. Comput.*, 35: 429-439.
- Kat P.W., Ka A., House J., House C., O'Brien S.J., Laurenson M.K., McNutt J.W., Osburn B.I., (1995). African Horse sickness and African carnivores. *Veterinary Microbiology*, 47: 133-140.
- Kawamoto M., Kaneko K., Hardian, Yuge O., (1996). Heart rate variability during artificial ventilation and apnea in brain-damaged rabbits. *American Journal of Physiology, heart and circulatory physiology*, 271: H410-H416.

- Kettlewell P., Mitchell M., Harper E., Villaroel E., Maria G., (2005). Thermal environments within transport vehicles. pp. 24-33 in Proc. Seminar NJF on Transport and handling of animals a Nordic Challenge!, Alnarp, Sweden.
- Kimura Y., Okamura K., Watanabe T., Murotsuki J., Suzuki T., Yano M., et al., (1996). Power spectral analysis for autonomic influences in heart rate and blood pressure variability in fetal lambs. *Am J Physiol. Heart Circ. Physiol.*, 271: H1333–9.
- Klont, R. E., Lambooy, E. (1995). Influence of preslaughter muscle temperature on muscle metabolism and meat quality in anesthetized pigs of different halothane genotypes. *J. Anim. Sci.* 73:96-107.
- Knowles, T.G., Warriss, P.D. (2007). Stress physiology of animals during transport. In: T. Grandin (ed.) *Livestock Handling and Transport*. CABI Publishing, UK.
- Knizkova, I., Kunc, P., Koubkova, M., Flusser, J and Dolezal, O. (2002) Evaluation of naturally ventilated dairy barn management by a thermographic method. *Livest. Prod. Sci.*, 77:349-353.
- Knizkova, I., Kunc, P., Guzdil, G.A.K., Pinar, Y. and Selvi K.C. (2007) Applications of infrared thermography in animal production. *J. of Fac. Agric., OMU*, 22(3):329-336.
- Knowles TG, Warriss PD (2007) Stress physiology of animals during transport. In: Grandin T, *Livestock Handling and Transport*. CABI Publishing, Wallingford, 312-328.
- Kovalcik K., Kovalcikova M., Broucek J., (1988). Interbreed differences in the responses of first-calvers to artificially induced stress conditions. *Sci. Agric. Bohemoslov*, 20: 203-209.
- Kowalik, S., Drobek, A., Studzinski, T. (2002) Poor performance in horses: causes and diagnosis. *Medyyna Weterynryina*, Vol. 58, N. 2, pp. 103-107.
- Kraft SL, Roberts GD, (2001) Modern diagnostic imaging. *Veterinary Clinics of North America: equine practice*, 17(1); 93-113.
- Kuwahara M., Hiraga A., Kai M., Tsubone H., Sugano S., (1999). Influence of training autonomic nervous function in horses: evaluation by power spectral analysis of heart rate variability. *Equine Vet. J., Suppl.* 30: 178–80.
- Kuwahara M., Tsujino Y., Tsubone H., Kumagai E., Tsutsumi H., Tanigawa M., (2004). Effects of pair housing on diurnal rhythms of heart rate and heart rate variability in miniature swine. *Exp Anim. (Tokyo)*, 53: 303–9.
- Introini-Collison, I. B., McGaugh, J. L., (1986) Epinephrine modulates long term retention of an aversively motivated discrimination, *Behavioural and Neural Biology*: 45, 358-365.

- Ishii K., Kuwahara M., Tsubone H., Sugano S., (1996). Autonomic nervous function in mice and voles (*Microtus arvalis*): Investigation by power spectral analysis of heart rate variability. *Laboratory Animals*, 30: 359-364.
- Leaver, J.D. & Webster, D.M. (1983) Assessment of lame-ness of dairy cattle on different systems of concentrate feeding. *Scottish Agricultural Colleges Crichton Royal 1983 pp. 27-29.*
- Le Moal, M., Simon, H., (1991) Mesocorticolimbic dopaminergic network; functional and regulatory roles, *Physiology Review*: 71, 155-234.
- Lewis E., Boyle L.A., Lynch P.B., Brophy P., O'Doherty.J.V. (2005) The effect of two teeth resection procedures on the welfare of piglets in farrowing crates. Part 1 *Applied Animal Behaviour Science* 90 233–249 www.elsevier.com/locate/applanim
- Lewis E., Boyle L.A., Brophy P., O'Doherty J.V., Lynch P.B. (2005) The effect of two piglet teeth resection procedures on the welfare of sows in farrowing crates. Part 2. *Applied Animal Behaviour Science* 90 251–264
- Livestock Farming (1982) Is there a dietary link with lameness? *Livestock Farming April 1982 pp. 30-31.*
- Llamas Moya S., Boyle S.A., Lynch, P.B., Arkins, S. (2006) Influence of teeth resection on the skin temperature and acute phase response in newborn piglets. *Animal Welfare* 15: 291-297.
- Logue, D.N., Lawson, A. & Roberts, D. (1989) The effect of two different protein sources in the diet upon the incidence and prevalence of lameness in dairy cattle. *Animal Production* 48 636 (Abstract).
- Logue, D.N., Offer, J.E. & Kempson, S.A. (1993) Lameness in cattle. *Irish Veterinary Journal* 46 47-58.
- Loughmiller J, Spire MF, Dritz SS, Fenwick BW, Hosni MH, Hogge SB (2001) *Am J Vet Res*, 62, 676-681.
- Ludwig, N., Gargano, M., Luzi, F., Carenci, C. and Verga, M. (2007) Applicability of infrared thermography as a non invasive measurement of stress in rabbits. *World Rabbit Science*, ISSN 1257-5011, 15(4).
- Ludwig, N., F. Luzi, V. Redaelli, M. Verga (2010) La termografia ad infrarosso per la valutazione del benessere in modo non invasivo - In: *Benessere Animale. A cura di Fulvio Biancifiori. Istituto Zooprofilattico Sperimentale dell'Umbria e delle Marche. Pp. 423-440.*
- Luzi F., Ludwig N., Gargano M., Carenci C., Verga M., (2005). Valutazione dello stress nella specie cunicola per mezzo di termografia ad infrarosso. *Atti delle Giornate di Coniglicoltura Asic* pag. 101.
- Luzi, F., Ludwig, N., Monzani, M., Gargano, M., Ricci, C., Redaelli, V., Verga, M. (2008) Procedures for analyses of sequence of thermal

- images in welfare study of rabbit / - In: Book of abstracts of the 4. International Workshop on the Assessment of Animal Welfare at Farm and Group Lev (WAFL) : Ghent, 10-13 September 2008.
- Maier, S. F., Watkins, L. R., (1999) Bidirectional communication between the brain and the immune system: implications for behaviour, *Animal Behaviour*: 57, 741-751.
- Manson, F.J. & Leaver, J.D. (1988a) The influence of concentrate amount on locomotion and clinical lameness in dairy cattle. *Animal Production* 47 185-190.
- Manson, F.J. & Leaver, J.D. (1988b) The influence of dietary protein intake and hoof trimming on lameness in dairy cattle. *Animal Production* 47 191-199
- Manson, F.J. & Leaver, J.D. (1989) The effect of concentrate: silage ratio and of trimming on lameness in dairy cattle. *Animal Production* 49 15-20.
- Marc M., Parvizi N., Ellendorff F., Kallweit E., Elsaesser F., (2000). Plasma cortisol and ACTH concentrations in the warmblood horse in response to a standardized treadmill exercise test as physiological markers for evaluation of training status. *Journal of animal science*, 78: 1936-1946.
- Marchant-Forde R.M., Marlin D.J., Marchant-Forde J.N., (2004). Validation of a cardiac monitor for measuring heart rate variability in adult female pigs. Accuracy, artefacts and editing. *Physiol. Behav.*, 80: 449-558.
- Marchant-Forde, J.N., Lay, D.C., McMunn, K.A., Cheng, H.W. Pajor R. M. (2008) Post-natal piglet husbandry practices and well-being: The effects of alternative techniques delivered separately. *J Anim Sci* published online Nov 7, 2008;
- Marelli, S.P., Riva, J., Sforzini, E., Stella, L., DiMari, W., Luzi F., Verga, M., (2008) Assessment of breed differences in German Shepherd and Belgian Malinois dog's reactivity: a pilot study. 4th International Workshop on the Assessment of Animal Welfare at Farm and Group Level (WAFL). 10-13 Settembre 2008, Ghent, Belgium.
- Marple, D. N., Judge, M. D., Aberle, E. D., (1972) Pituitary and adrenocortical function of stress-susceptible swine. *J. Anim. Sci.*, 35: pp.95.
- Mason, G., (1991) Stereotypies: a critical review, *Animal Behaviour*: 41, 1015-1037.
- McCafferty D., (2007). The Value of infrared thermography for research on mammals: previous applications and future directions. *Mammal. Rev.*, 37: 207-223.

- McCraty R, Atkinson M, Tiller WA, Rein G, Watkins AD., (1995) The effects of emotions on short-term power spectrum analysis of heart rate variability. *Am. J. Cardiol.*, 76: 1089–93.
- Mellor D.J., Cook C.J., Stafford K.J., (2000). Quantifying some responses to pain as a stressor. In: Moberg G.P and Mench J.A. (eds). *The Biology of Animal Stress: Basic Principles and Implications for Animal Welfare*, 171-198. CABI Publishing: Wallingford, U.K.
- Merla A., (2002). Reynaud's Phenomenon: infrared functional imaging applied to diagnosis and drugs effects. *Int. J.Immunol. Pharm.*, 15: 41-52.
- Minero M., Tosi M.V., Canali E., Wemelsfelder F., (2009). Quantitative and qualitative assessment of the response of foals to the presence of an unfamiliar human. *Applied Animal Behaviour Science*, 116: 74-81.
- Mitchell MA, Kettlewell PJ, Lowe JC, Hunter RR, King T, Ritchie M, Bracken J (2001) *Proc. 6th Int. Symp. of Livestock Environment*. ASAE, Louisville, 535-541.
- Mitchell M., Kettlewell P., Villaroel-Robinson M., Harper E. (2005) Assessing stress and welfare during transportation – the role of remote physiological monitoring. pp. 52-61 in *Proc. Seminar NJF on Transport and handling of animals a Nordic Challenge!*, Alnarp, Sweden.
- Moberg, GP. (2000) Biological response to stress: implications for animal welfare. In:
- Moberg G. P. & Mench J. A. (2000) *Biology of Animal Stress: Implications for Animal Welfare*. CAB International, Wallingford, Oxon, U.K.
- Mortellaro, C.M. (1994) Digital dermatitis. *Proceedings of the 8th. International Symposium on Disorders of the Ruminant Digit*. Banff, Canada. pp. 137-141.
- Muck-Seler, D., N. Pivac, M. Jakovljevic. (1999). Sex differences, season of birth and platelet 5-HT levels in schizophrenic patients, *Journal of Neural Transmission*, 106: 337-347.
- Murphy, P.A., Hannan, J. & Monaghan, M. (1987) A survey of lameness in beef cattle. In "Cattle Housing Systems, Lameness and Behaviour" Edited by Wierenga, H.K. & Peterse, D.J. Martinus Nijhoff, Dordrecht. pp. 67-72.
- Murray, R.D. (1993) Foot shape. In "An epidemiological study to determine the risk factors of lameness in dairy cattle". Edited by Clarkson, M. J. & others. University of Liverpool. pp. 58 -76.
- Nakayama K., Goto S., Kuraoka K., Nakamura K., (2005). Decrease in nasal temperature of rhesus monkeys (*Macaca Mulatta*) in negative emotional state. *Physiology & Behavior*, 84: 783-790.

- Nanni Costa L., Redaelli V.¹, Magnani D., Cafazzo S., Amadori M.², Razuoli E.², Verga M., Luzi F. (2010) Studio preliminare sulla relazione tra la temperatura cutanea del suinetto misurata mediante termografia e quella ambientale all'interno di un veicolo durante il trasporto. Submitted to LXIV Convegno Nazionale S.I.S.Vet. Asti, 8-10 Settembre 2010.
- Nordin C., Eklundh T., Fernstom V., Swedin A.E. Zachau A.C. (1995) Gradients of CSF monoamine metabolites: a comparison between male and female volunteers. *Journal Psychiat. Res.*, Vol 29, No 2, pp. 133-140.
- Norman S.E., Eager R.A., Waran N.K., Jeffery L., Schroter R.C., Marlin D.J., (2005). Recording of ECG signals on a portable MiniDisc recorder for time and frequency domain heart rate variability analysis. *Physiol. Behav.*, 83: 729–38.
- Offer, G. (1991). Modeling the formation of pale, soft and exudative meat: Effects of chilling regime and rate and extent of glycolysis. *Meat Sci.* 30:157-184.
- Offer, J. E., Logue, D. N. & Roberts, D.J. (1997) The effect of protein source on lameness and solear lesion formation in dairy cattle. *Animal Science* 65 143-149.
- Okumus Z, Yanmaz LE, (2007) Instrumentation of thermography and its applications in horses. *Journal of Animal and Veterinary Advances*, 6(7); 858-862.
- Overall, K.L., (1997) *La Clinica Comportamentale del Cane e del Gatto*. CG ed. Med. Sci.
- Pagani M., (2000). Heart rate variability and autonomic diabetic neuropathy. *Diabetes Nutr Metab*, 13: 341–6.
- Pajani D., (1989). *Mesure par Termographie Infrarouge*. ADD Editeur, Chatenay Malabry.
- Patteson M. *Equine cardiology*, (1996) .Oxford: Blackwell Science.
- Peixoto, J.P., Oort, A.H., (1992) *Physics of Climate*. American Institute of Physics, New York.
- Penaz J., Roukens J., Van De Waal H.J., (1968). Spectral analysis of some spontaneous rhythms in the circulation. In : Drischel H., Tiedt N.(EDS), *Biokybernetik*. Leipzig: Karl Marx Universitat, 233-236.
- Perkins J.D., Bowen I.M., Else R.W., Marr C.M., Mayhew I.G., (2000). Functional and histopathological evidence of cardiac parasympathetic dysautonomia in equine grass sickness. *Vet. Rec.*, 146: 246–50.
- Peterse, D. J., Cornelisse, J. L. & Toussaint Raven, E. (1982) *Dermatitis digitalis*. Proceedings of 12th International Conference on Diseases of Cattle. pp. 830-832.

- Peterse, D.J., Korver, S., Oldenbroek, J.K. & Talmon, F.P. (1984) Relationships between levels of concentrate feeding and incidence of sole ulcers in dairy cattle. *Veterinary Record* 115 629-630.
- Phillips, C. J. C., Coe, R., Colgan, M., Duffus, C., Ingoldby, L., Pond, M. & Postlethwaite, S. (1998) Effect of hoof characteristics on the propensity of cattle to slip. *Veterinary Record* 142 242-245.
- Philpot, J. M., Pluvinage, P., Cimarosti, I., Sulpice, P. & Bugnard, F. (1994) Risk factors of dairy cow lameness associated with housing conditions. *Veterinary Research* 25 244-248.
- Physick-Sheard P.W., Marlin D.J., Thornhill R., Schroter R.C., (2000). Frequency domain analysis of heart rate variability in horses at rest and during exercise. *Equine Vet. J.* 2000, 32: 253–62.
- Polar® Vantage NV, (1995). Polar® Electro OY, Fin.-90440 Kempele, Finland.
- Porges S.W., (1995). Orienting in a defensive world: mammalian modifications of our evolutionary heritage. A Polyvagal Theory. *Psychophysiology*, 32: 301–18.
- Porges S.W., (2003). The polyvagal theory: phylogenetic contributions to social behavior. *Physiol. Behav.*, 79: 503–13.
- Ramamoorthy, S., Bauman, A.L., Moore, K.R., Han, H., Yang-Feng, T., Chang, A.S., Ganapathy, V., Blakely, R.D., (1993) Antidepressant- and cocaine-sensitive human serotonin transporter: molecular cloning, expression, and chromosomal localization. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 15; 90 (6), 2542–2546.
- Redaelli, V., Tarantino, S., Ricci, C., Luzi, F., Zeconi, A. and Verga, M. (2009) A non invasive method to measure lameness in dairy cow. *Ital. J. Anim. Sci.*, 8 (Suppl. 2):671.
- Redaelli, V., Ferrucci, F., Zucca, E., Minero, M., Ferrari, L., Luzi, F., Carezzi, C. and Verga, M. (2009b) Infrared video-thermography technique on Sport Horses. 10th International Workshop AITA, Firenze, September 8-11.
- Redaelli, V., F. Luzi, E. Chiminelli, F. Ferrucci, M. Verga, C. Carezzi (2010) Utilizzo della tecnica termografica in ippatria: principi e applicazioni. *Veterinaria Pratica Equina, Point Veterinaire Ed. in press.*
- Reisner, I. R., Mann, J.J., Stanley, M., Yung-Yu, Huang, Houpt, K. A., (1996) Comparison of cerebrospinal fluid monoamine metabolite levels in dominant-aggressive and non-aggressive dogs, *Brain Research* 714 57-64.
- Riva, J., Bondiolotti G.P, Michelazzi M., Marelli S.P., Luzi F., Verga M., (2007) Comparison of neurotransmitter levels and behaviors in drug

- detection dogs. *Journal of Veterinary Behavior: Clinical Applications and Research* vol. 2, Issue 3, pp 86.
- Riva, J., Bondiolotti G.P., Trotti A., Verga M. (2007) Possibili relazioni tra disturbi comportamentali su base ansiosa nel cane e neurotrasmettitori, *Praxis Vet.*, 28:3 pp. 3-10.
- Riva, J., Bondiolotti GP., Michelazzi M., Verga M., Carezzi C., (2008) Anxiety related behavioural disorders and neurotransmitters in dogs. *Applied Animal Behaviour Science*, 114:1-2, pp. 168-181.
- Riva, J., Marelli, S.P., Redaelli, V., Sforzini, E., Luzi, F., Di Mari, W., Verga, V., (2009) Video infrared thermography technique in dogs / - In: *Journal of Veterinary Behavior*. - ISSN 1558-7878. - 5:1(2010), pp. 64-64.
- Riva J., Marelli S.P., Redaelli V., Sforzini E., Luzi F., Di Mari W., Verga M., (2009). Video infrared thermography technique in dogs. *Proc. of EVBM 2009*, Edinburgh, Scotland.
- Riva, J., S.P. Marelli, V. Redaelli, F. Luzi, E. Sforzini, G.P. Bondiolotti, C. Carezzi, M. Verga (2010) The effects of drug detection training on behavioural reactivity and blood neurotransmitters levels in drug detect dog, a preliminary study. *Submitted and accepted to Editor in Chief of Journal of Veterinary Behavior: Clinical Applications and Research*.
- Rooney, N., Bradshaw J., (2003) Breed and sex differences in the behavioural attributes of specialist search dogs: a questionnaire survey of trainers and handlers. *Applied Animal Behaviour Science*, pp.123 -135.
- Rooney, N., Gaines S. A., Bradshaws J., (2007). Behavioural and glucocorticoid responses of dogs (*Canis Familiaris*) to kenneling: investigating mitigation of stress by prior habituation. *Physiol Behav* 92(5): 847-54.
- Rosina, E., Ludwig, N., Redaelli, V., Della Torre, S., D'Ascola, S., Catalano, M., Faliva, C., (2005) IRT analysis on historic buildings: towards and controlled convection heating / (Proceedings of SPIE ; 5782). - In: *Thermosense 27*. / [a cura di] G. R. Peacock, D. D. Burleigh, J. J. Miles. - [s.l.] : SPIE, 2005. - ISBN 9780819457677. - pp. 153-163.
- Rothuizen, J., Reul J. M. H. M., Van Sluijs F. J., Mol J. A., Rijnberk A., De Kloet E. R., (1993) Increased neuroendocrine reactivity and decreased brain mineralocorticoid receptor-binding capacity in aged dogs. *Endocrinology*, 132, pp. 161-168.
- Rietmann T.R., Stuart A.E.A., Bernasconi P., Stauffacher M., Auer J.A., Weishaupt M.A., (2004). Assessment of mental stress in warmblood horses: heart rate variability in comparison to heart rate and selected behavioural parameters. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 88: 121-36.

- Rodriguez-Lainz, A., Hird, D.W., Carpenter, T.E. & Read, D.H. (1996) Case-control of papillomatous digital dermatitis in southern California dairy farms. *Preventive Veterinary Medicine* 28 117-131.
- Rosy L.A., Thayer J.F., (1998). Fitness and gender-related differences in heart period variability. *Psychosom. Med*, 60: 773–81.
- Rowlands, G.J., Russell, A.M. & Williams, L.A. (1983) Effects of season, herd size, management system and veterinary practice on the lameness incidence in dairy cattle. *Veterinary Record*. 113 441-445.
- Rowlands, A.M., Russell, A.M. & Williams, L.A. (1985) Effects of stage of lactation, month, age, origin and heart girth on lameness in dairy cattle. *Veterinary Record* 117 576-580.
- Rugh K.S., Jiang B., Hatfield D., Garner H.E., Hahn A.W., (1992). Cardiac cycle length variability in ponies at rest and during exercise. *J. Appl. Physiol.*, 73: 1572–
- Rushen J., Widowski T. and Mench J., (2003), Changing concepts of farm animal welfare: bridging the gap between applied and basic research. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 81: 199-214.
- Ryu, Y.C., Choi Y.M., Kim, B.C. (2005). Variations in metabolite contents and protein denaturation of the longissimus dorsi muscle in various porcine quality classifications and metabolic rates. *Meat Sci.*, 71: 522-529.
- Sayers B.M., (1973). Analysis of Heart Rate Variability. *Ergonomics*, 16: 17-32.
- Sapolsky, R. M. (1994) *Why Zebras Don't Get Ulcers*, WH Freeman, New York.
- SAS Institute, Software Release 8e, Copyright (c) 1999-2001 by SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.
- SCAHAW (2002). The welfare of animals during transport (details for horses, pigs, sheep and cattle). Report of the Scientific Committee on Animal Health and Welfare
- SCAHAW. Home page address: <http://ec.europa.eu/food/Fs/sc/scah/out71en.pdf>
- Schaefer, A.L., Jones, S.D.M., Murray, A.C., Sather, A.P. and Tong, A.K.W. (1989) Infrared thermography of pigs with known genotypes for stress susceptibility in relation to pork quality. *Can. J. Anim. Sci.*, 69: 491-495.
- Schaefer, A.L., Cook, N., Tessaro, S.V., Deregt, D., Desroches, G. and Godsson, D.L. (2003) Early detection and prediction of infection using infrared thermography. *Can. J. Anim. Sci.*, 84:73-80.
- Schaefer, A.L., Cook, N., Tessaro, S.V., Deregt, D., Desroches, G., Dubeschi, P. L., Tong, A. K. W. and Godson, D. L. (2004). Early detection and

- prediction of infection using infrared thermography.
- Schutte, A., Mergens A., Pott U., Venthienand S. (1996). Effect of different kinds of showering in lairage on physiological and meat quality parameters, taking climatic circumstances into account. Pp. 181-205. In: Proc. EU-Seminar: New information on welfare and meat quality of pigs as related to handling, transport and lairage conditions. Braunschweig: Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Volkenrode.
- Scott, S.L., Schaefer, A.I., Tong, A.K.W. and Lacasse, P. (2000) Use of infrared thermography or early detection of mastitis in dairy cows. *Can. J. Anim. Sci.*, 70: 764 – 5.
- Selye, H., (1956) *The Stress of Life*, McGraw-Hill, New York.
- Sgoifo Rossi C.A., Franciosi M., Compiani R., Caprarotta L., Vandoni S., 2010. Malattie delle lattifere, ma quanto ci costano? *L'Allevatore Magazine*, 2010(2):42-50
- Skoog, d.a., Leary, j.j., (1995) *Chimica analitica strumentale*. Edises, (Estratto da "http://it.wikipedia.org/wiki/Cromatografia_liquida_ad_alta_pressione").
- Sleigh J.W., Henderson J.D., (1995). Heart-rate-variability and preoperative anxiety. *Acta Anaesthesiol Scand.*, 39: 1059–61.
- Smith, G.R. (1992) Pathogenicity of *Fusobacterium necrophorum* biovar B. *Research in Veterinary Science*. 52 260-261
- Smith, G.R. & Wallace, L.M. (1992) Further observations on the weak immunogenicity of *F. necrophorum*. *Research in Veterinary Science*. 52 262-263
- Sparrow E.M., Cess R.D., (1966). *Radiant heat transfer*. Brook/Cole Publ. Co., Belmont California.
- Speakmen, J.R. and Ward, S. (1998) *Infrared thermography: Principle and applications*. *Zoology*, 101:224-232.
- Spire, M.F., Drauillard, J.S., Galland, J.C. and Sargeant, J.M. (1999) Use of infrared thermography to detect inflammation caused by contaminated growth promotant ear implants in cattle. *J. Am. Vet. Med. Assoc.*, 215:1320-1324.
- Spruyt P., Ghafir Y., Lekeux, (1995). Infrared thermography in the study of thermoregulation: bibliographic study. *Annales de Médecine Veterinaire (Belgium)*. Vol. 139(6):413-418.
- Stewart, M., Webster, J.R., Schaefer, A.L., Cook, N.J. and Scott, S.L. (2005) Infrared thermography as a non-invasive tool to study animal welfare. *Animal Welfare*, 14: 319 -25.

- Stewart M., Schaefer A.L., Haley D.B., Colyn J., Cook N.J., Stafford K.J., Webster J.R., (2008). Infrared thermography as a non-invasive method for detecting fear-related responses of cattle to handling procedures. University federation of Animal Welfare, *Animal Welfare* 17: 387-393, ISSN 0962-7286
- Succi G. , (1999). *Zootecnia speciale*. Citta'studi Edizioni.
- Suzuki A., Tsutsumi H., Kusakabe K., Kuwahara M., Sugano S., Tanigawa M. (1998). Establishment of a 24-hour electrocardiogram recording system using a Holter recorder for miniature swine. *Lab Anim. UK*, 32: 165–72.
- Svartberg, K., (2005). A comparison of behaviour in test and in everyday life: evidence of three consistent boldness-related personality traits in dogs. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 91, 103–128.
- Task Force of the European Society of Cardiology, North American Society of Pacing and Electrophysiology (1996). Heart rate variability: standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. *Circulation*, 93: 1043–65.
- Thayer J.F., Friedman B.H., (1996). The heart of anxiety: a dynamical systems approach. In: Tilburg M., Vingerhoets AJJM, editors. *The (non) expression of emotions in health and disease*. Tilburg: Tilburg University Press, Book Tilburg, M.A.L. van and Vingerhoets, A.J.J.M., 39–48.
- Thayer J.F., Hahn A.W., Pearson M.A., Sollers III J.J., Johnson P.J., Loch W.E., (1997). Heart rate variability during exercise in the horse. *Biomed. Sci. Instrum.*, 34: 246–51.
- Tong, A.K.W., Scheafer, A.L., Cook, N.J. and Scott, S.L. (1995) Detection of poor quality beef using infrared thermography. *Meat Focus International*, 4:443-445.
- Tosi M.V.; Ferrante V.; Mattiello S.; Canali E. & Verga M., (2006), Comparison of video and direct observation methods for measuring oral behaviour in veal calves. *Ital. J. of Anim. Sci.*, 5, 19-27.
- Turner, T.A. (1991) Thermography as an aid to the clinical lameness evaluation. *Veterinary Clinics of North America: equine practice*, 7(2); 311-338.
- Turner, T.A. (2001) Diagnostic Thermography. *Mod. Diag. Imag.*, N. 17, pp. 95-112.
- Universities Federation of Animal Welfare The Old School, Brewhouse Hill, Wheathampstead, Hertfordshire AL4 8AN, UK. Tel: +44(0)1582 831818 Fax: +44(0)1582 831414 Press Release - The Downside of Cutting Piglets' Teeth Website: <http://www.ufaw.org.uk> Email: ufaw@ufaw.org.uk

- Vanzelli, L., Bernasconi, S., (1979) Aggressiveness by isolation and brain serotonin turnover changes in different strains of mice, *Neuropsychobiol.*, 5 129-135.
- Verga, M., (1996) Etogramma e sviluppo del comportamento del cane domestico. *Praxis Veterinaria*, vol. XVII, n° 1, pp. 24-26.
- Verga, M., (1999) Etologia applicata e zooantropologia. *Zooantropologia/Animali e umani : analisi di un rapporto*, Red edizioni, Como.
- Verga, M., (2001) I disturbi del comportamento negli animali domestici. *Comunicazione Personale*, Milano.
- Verga M., Luzi F., Petracci M. and Cavani C., (2009), Welfare aspects in rabbit rearing and transport. *Ital. J. Anim. Sci.*, Vol. 8 (Suppl. 1), 191-204.
- Vianna, D.M.L. and Carrive, P. (2005) Changes in cutaneous and body temperature during and after conditioned fear to context in the rat. *Proc. Aust. Neuroscience Soc.*, 21:2505-2512.
- Visser E.K, Van Reenen C.G., Van Der Werf J.T.N., Schilder M.B.H., Knaap J.H., Barneveld A.(2002). Heart rate and heart rate variability during a novel object test and a handling test in young horses. *Physiol. Behav.*, 76: 289–96.
- Visser E.K., Van Reenen C.G., Rundgren M., Zetterqvist M., Morgan K., Blokhuis H.J., (2003). Responses of horses in behavioural tests correlate with temperament assessed by riders. *Equine. Vet. J.*, 35: 176–83.
- Visser K., VanDierendock M., Ellis A., Rijksen C., Van Reenen C.G., (2009). A comparison of sympathetic and conventional training methods on responses to initial horse training. *The Veterinary Journal*, 181: 48-52. *Pubbl. By Elsevier*.
- Von Borell E., Langbein J., Gérard D., Hansen S., Leterrier C., Marchant-Forde J., Marchant-Forde R., Minero M., Mohr E., Prunier A., Valance D., Veissier I., (2007). Heart rate variability as a measure of autonomic regulation of cardiac activity for assessing stress and welfare in farm animals. *Physiology & Behavior*, 92: 293-216.
- Voss B., Mohr E., Krzywanek H., (2002). Effects of aqua-treadmill exercise on selected blood parameters and on heart-rate variability of horses. *J. Vet. Med. A. Physiol. Pathol. Clin. Med.*, 49: 137–43.
- Wallace, D. M., Magnuson D. J., Gray T.S., (1992) Organisation of the amygdaloid projections to brainstem dopaminergic, noradrenergic, and adrenergic cell groups in the rat, *Brain Research Bulletin*: 28, 447-454.
- Walker, R.L., Read, D.H., Loretz, K.J., Hird, D.W. & Berry, S.L. (1997)

- Humoral response of dairy cattle to spirochetes isolated from papillomatous digital dermatitis lesions. *American Journal of Veterinary Research* 58 744-748.
- Walker, R.L., Read, D.H., Loretz, K.J. & Nordhausen, R.W. (1995) Spirochetes isolated from dairy cattle with papillo-matous digital dermatitis and interdigital dermatitis. *Veterinary Microbiology* 47 343-355.
- Ward, W.R. (1993) Cattle behaviour, stockmanship and bovine lameness. *Cattle Practice*. October 1993. 1 pp. 332-337.
- Ward, W. R. (1994) The minimal solution footbath -An aid to treatment of digital dermatitis. Proceedings of the 8th International Symposium on Disorders of the Ruminant Digit and International Conference on Bovine Lameness. Banff, Canada. pp. 184-185.
- Warriss, P.D., Brown, S.N. (1994). A survey of mortality in slaughter pigs during transport and lairage. *Veterinary Record* 13: 513-515.
- Warriss, P. (2003). Optimal lairage times and conditions for slaughter pigs: a review. *Veterinary Record* 153: 170-176.
- Waterhouse J., Atkinson G., Reilly T., Jones H., Edward B., (2007). Chronophysiology of the cardiovascular system. *Biological rhythm research*, 38: 181-194.
- Watson, C. (1997) The role of antibiotics in arthritis and foot diseases. *Irish Veterinary Journal* 50 615 -618.
- Watson, C. (1999) Lameness in cattle -Lesions and diseases of the skin - Part 1. *U.K. Vet January/February* 4 No.1 51-60.
- Webster J., (1995). Blackwell Science, Oxford,UK.
- Weeding, C. M., Guise H. J., Penny R.H.C. (1993). Factors influencing the welfare and carcass and meat quality of pigs: the use of water sprays in lairage. *Anim. Prod.* 56: 393-397.
- Weil, M., Litzke, L.F. and Fritsch, R. (1998) Diagnostic validity of thermography of lameness in horse. *Tierarztl Prax. Ausg G Grosstiere Nutztiere*, 26, 346 – 54.
- Weipkema, P. R., Koolhaas J. M., (1992) The emotional brain, *Animal Welfare*: 1, 13-18.
- Weiss, J. M., (1972) Psychological factors in stress and disease, *Scientific American*: 226, 104-113.
- Xin, H. (1999) Assessing swine thermal comfort by image analysis of postural behaviours. *J. Anim. Sci.*, 77, Suppl.2/J. Dairy Sci., 82, Suppl.2:1-9.
- Yan, D., Urano, T., Pietraszek, M.H., Shimoyama, I., Uemura, K., Kojima, Y., Sakakibara, K., Serizawa, K., Takada, Y., Takada, A., (1993)

- Correlation between serotonergic measures in cerebrospinal fluid and blood of subhuman primate. *Life Sci.* 52 (8), 745–749.
- Yang, W. and Yang P.P.T. (1992) Literature survey on biomedical applications of thermography. *Bio-medical materials and Engineering*, 2:7-18.
- Yanmaz, L.E., Zafer, O., Dogan, E. (2007) Instrumentation of Thermography and its Applications in Horses. *Journal of Animal and veterinary Advances*. Vol. 6, N. 7, pp. 858-862.
- Zecconi A., Piccinini R., Fiorina S., Cabrini L., Daprà V., Amadori M, (2009). Evaluation of interleuchin -2 treatment for prevention of intramammary infections in cows after calving. *Comp. Imm. Micr. Infectious Diseases*, 32(5):439-451.
- Zucca E., Ferrucci F., Di Fabio V., Croci C Ferro E., (2003). The use of electrocardiographic recording with Holter monitoring during treadmill exercise to evaluate cardiac arrhythmias in racehorses. *Veterinary Research Communications*, 27: 811-814.

Cap. 12 – Ringraziamenti

Un ringraziamento particolare a tutti coloro che hanno sostenuto o partecipato alle sperimentazioni e al lavoro di questi tre anni:

- Dipartimento di Scienze Animali dell'Università degli Studi di Milano
- Dipartimento di Patologia Animale, Igiene e Sanita' Pubblica Veterinaria dell'Università degli Studi di Milano
- Dipartimento di Scienze Cliniche Veterinarie dell'Università degli Studi di Milano e Ospedale Veterinario di Lodi (Mi)
- Centro Zootecnico Didattico Sperimentale di Lodi (Mi)
- Azienda Agraria Angelo Menozzi - Landriano (Pv) (Facolta' di Agraria)
- Dipartimento di Ingegneria Agraria dell'Università degli Studi di Milano
- Dipartimento di Fisica dell'Università degli Studi di Milano
- Dipartimento BEST – Politecnico di Milano
- Facoltà di Scienze Motorie dell'Università degli Studi di Milano
- Dipartimento di Protezione e Valorizzazione Agro-alimentare dell'Università degli Studi di Bologna
- Dipartimento di Neuroscienze Comportamentali dell'Istituto Superiore di Sanità di Roma
- Scottish Agricultural College (SAC) di Edinburgo
- Centro di Allevamento e Addestramento della Guardia di Finanza di Castiglione del Lago (PG)
- Centro Internazionale del Cavallo di Druento (To)
- Istituto Zooprofilattico Sperimentale dell'Umbria e delle Marche
- Fondazione Iniziative Zooprofilattiche e Zootecniche di Brescia
- Vetogene – Spin off dell'Università degli Studi di Milano
- Siena Biotech – Siena
- Tecniplast – Buguggiate
- Charles River – Calco

