

SUMMARY

ONE OF THE NEW TOOLS OF PRECISION LIVESTOCK FARMING TO REALISE ON-LINE MONITORING OF ANIMAL HEALTH STATUS IS BIOACUSTIC.

In this paper, sound analysis is used for the localization of coughing pigs in a stable in field condition. This is done by using the difference in arrival time of a sound signal between eight different microphones. The estimated position of a reference sound is compared with the real position in various microphone configurations. During three hours of trial, sound was recorded using seven microphones. During this period 179 coughs were recorded, origination from 19 cough attacks, and their localization has been estimated. This information becomes useful since by detecting the position of the sick subjects we can monitor the whole group health status and we take action by reducing the use of antibiotics by means of selective and early treatment of single pens, in stead of the whole compartment.

Key words: health monitoring, cough analysis, pig production, sound localization.

Dipartimento di Scienze e Tecnologie Veterinarie per la Sicurezza Alimentare, Facoltà di Medicina Veterinaria, Università degli Studi di Milano, Via Celoria 10, 20133 Milano. sara.ferrari@unimi.it

Zootecnia di precisione, la bioacustica identifica in porcilaia la posizione degli animali malati

Sara Ferrari - Annamaria Costa - Marcella Guarino

RIASSUNTO

Un nuovo strumento di zootecnia di precisione per monitorare lo stato di salute degli animali in tempo reale è la bioacustica. L'analisi del suono è stata impiegata per localizzare animali affetti da tosse in un contesto di campo. È possibile identificare l'esatta posizione della fonte sonora utilizzando la differenza di tempo di ricezione, di un suono, da parte di diversi microfoni così abbiamo localizzato gli attacchi di tosse dei suini ricoverati. Durante tre ore di test abbiamo registrato i suoni di una porcilaia con sette microfoni raccogliendo 179 singoli colpi di tosse appartenenti a 19 attacchi. Il sistema ci ha quindi permesso di mappare la posizione dei soggetti malati. Questo metodo può essere utile, nell'ambito della moderna zootecnia di precisione, perché, identificando la posizione dei soggetti malati ci permette di monitorare la condizione di salute del gruppo e intervenire trattando esclusivamente i box ospitanti soggetti malati anziché attuare gli attuali trattamenti indiscriminati a tutto il gruppo.

INTRODUZIONE

L'alta incidenza delle patologie respiratorie negli allevamenti suini e le alte spese derivanti dagli interventi veterinari sia in prevenzione che in terapia degli animali invogliano a ricercare metodi alternativi diagnostici precoci delle patologie. Alle già vigenti norme di biosicurezza pertanto si affianca un nuovo strumento di indagine dei nostri allevamenti: la zootecnia di precisione.

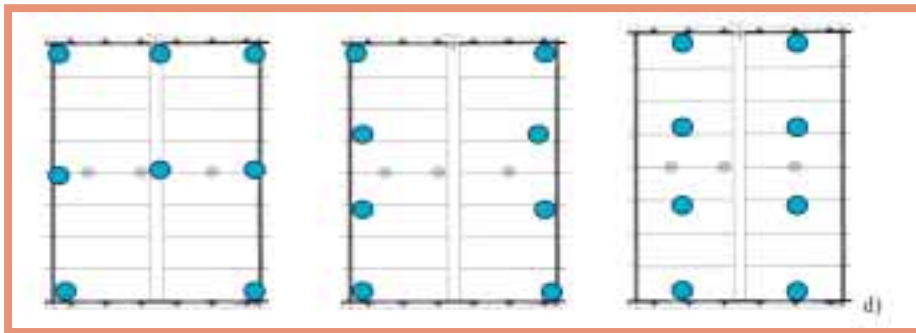
Questa nuova disciplina è multifattoriale; unisce infatti le competenze della zootecnia, della medicina veterinaria e dell'informatica creando sistemi avanzati computerizzati, on-line, di controllo dei nostri allevamenti con lo scopo di migliorare le produzioni animali.

In questa sede approfondiremo il problema delle patologie respiratorie, che hanno come sintomo patognomonico la tosse, per arginar le quali l'allevatore impiega consistenti somme di denaro.

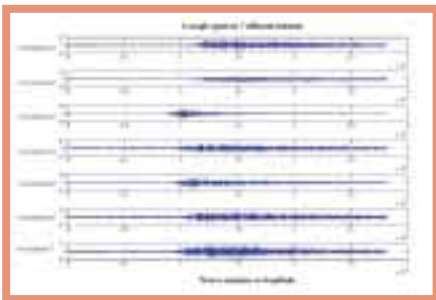
Questo campo da alcuni anni è stato supportato dalla ricerca del Dipartimento di Scienze e Tecnologie Veterinarie per la Sicurezza Alimentare della facoltà di Medicina Veterinaria di Milano e dal Dipartimento di Bioingegneria dell'Università Cattolica di Leuven.

Il presupposto da cui si parte è che lo studio del sistema respiratorio equivale allo studio della sorgente del suono e dunque l'analisi del suono è vista come diagnosi precoce per riconoscere diversi tipi di tosse e, in un secondo momento, localizzare il o i box ospitanti animali malati.

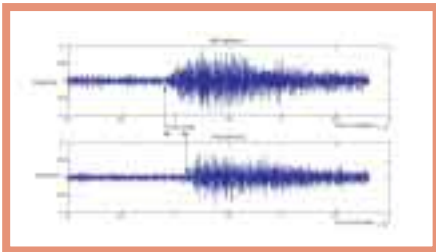
Agli albori della ricerca si indagarono le proprietà acustiche del suono della tosse in suini in condizioni di labo-



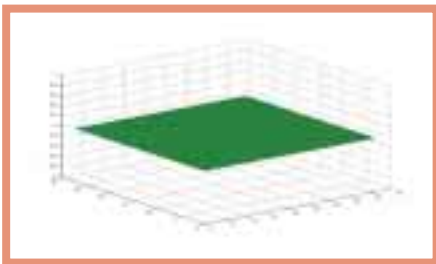
▲ Figura a): alcuni esempi di possibili configurazioni di microfoni all'interno della porcilaia. I cerchi azzurri indicano la posizione dei microfoni



▲ Figure b): spettrogramma in dominio di tempo di una registrazione a sette microfoni



▲ Figure c): differenti tempi di ricezione da parte di due microfoni allo stesso suono dovuti alla diversa distanza dei due microfoni dalla fonte sonora



▲ Figura d): visione tridimensionale della porcilaia, il piano verde indica il pavimento dell'edificio le dimensioni sono di 14x21 m

ratorio. L'obiettivo era quello di formulare un algoritmo di riconoscimento delle tossi suine (Chedad, 2001; Van Hirtum, 2002). Questo strumento si avvale di registrazioni dell'attività di una porcilaia che permettesse la raccolta di informazioni relative all'andamento dello stato di salu-

te del gruppo di animali venendo a costituire perciò uno strumento diagnostico precoce. Successivamente si passò alla sperimentazione in campo (Van Hirtum, 2003; Guarino 2004), con la conseguente modifica dell'algoritmo sviluppato precedentemente in condizioni di laboratorio.

Al giorno d'oggi è stato effettuato un ulteriore passo nella sperimentazione: la metodologia ha previsto l'utilizzo di diversi microfoni all'interno di un reparto di magronaggio di un allevamento suinicolo. Gli animali presenti erano affetti da tossi di natura batteriologica, si è potuto così raccogliere un consistente database di dati dalla cui analisi quantitativa e spettrografica del suono si è potuto investigare sia le caratteristiche fisiche tipiche delle tossi sia la localizzazione della fonte sonora.

Questo secondo punto è di forte valenza epidemiologica. Secondo infatti i pareri di epidemiologi, e infettivologi, in caso di patologia che colpisca un allevamento di tipo intensivo, la più piccola unità di trattamento possibile, in un reparto, è il box e non il singolo animale dunque poter riconoscere tempestivamente la localizzazione degli animali malati può essere utile per applicare un trattamento selettivo, trattando i box infetti ed eventualmente quelli adiacenti con i quali si condivide il canale dell'alimentazione, e non indiscriminato come succede ora.

Abbiamo utilizzato 7 o 8 microfoni disponendoli all'interno della porcilaia in modo da coprire tutta la superficie di ricovero degli animali. In tre ore di registrazioni abbiamo collezionato 19 attacchi di tossi (fig. a).

Analizzando le tracce audio a secon-

da delle diverse configurazioni abbiamo calcolato la distanza di tempo che intercorre tra la ricezione di un suono da parte dei diversi microfoni. Ovvero il cosiddetto "delay in time" che non è altro che lo spazio percorso dall'onda sonora nel tempo che intercorre tra la ricezione di un suono da parte di due microfoni (figg. b e c).

Questa distanza di tempo è proporzionale alla distanza del microfono dalla fonte sonora e se moltiplicata per la velocità del suono (340 m/s) ci permette di individuare la posizione della fonte sonora stessa.

A questi dati, se aggiungiamo le coordinate relative alla posizione dei microfoni nella porcilaia e le dimensioni della stessa possiamo stimare con precisione la posizione della fonte sonora e nel nostro caso del suino malato. Per arrivare con precisione a questo innanzitutto abbiamo diviso la porcilaia in una griglia dalla quadratura di 10 x 10 cm (Unità di Riferimento), visto che le sue dimensioni sono di 14 x 21 m avremo 140 x 210 quadrature. Ogni quadratura indica un possibile punto di provenienza della fonte sonora (fig. d).

Quindi da ogni punto della griglia abbiamo calcolato la distanza di quel punto dai due microfoni e l'abbiamo confrontata con lo spazio percorso dall'onda sonora nel "delay in time". Abbiamo ripetuto questi calcoli per tutte le configurazioni di microfoni.

La funzione matematica che permette questi calcoli è la seguente:

$$w_{k,l,i} = \sum_{m=1}^2 \sum_{j=1}^2 |d(k,l,i) - d(k,l,j) - \pi(k,l)|$$

Una volta applicata per tutte le tossi ci permette di individuare la provenienza della fonte sonora attraverso una rappresentazione grafica di questo tipo dove il punto di minimo della figura rappresenta la posizione della fonte sonora (Fig. e).

La stima di tutte le posizioni degli attacchi di tossi riconosciuti dall'algoritmo è riportata nella seguente tabella 1.

La rappresentazione grafica della distribuzione delle tossi nel nostro reparto di magronaggio è riportata in Figura f.

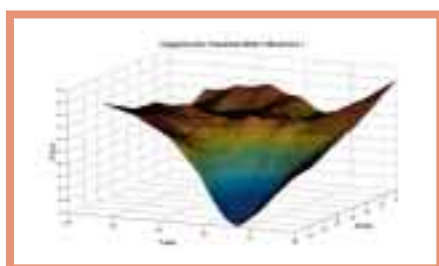
Per validare se il metodo impiegato fosse preciso lo abbiamo testato ri-



▲ Foto 1: la porcolaia



▲ Foto 2: microfono utilizzato nella ricerca



▲ Figura e): rappresentazione della superficie di propagazione dell'onda sonora dove la parte di minimo in blu rappresenta la fonte del suono stesso

producendo un suono noto dato da un triangolo musicale, in una posizione stabilita da coordinate note e misurate in precedenza.

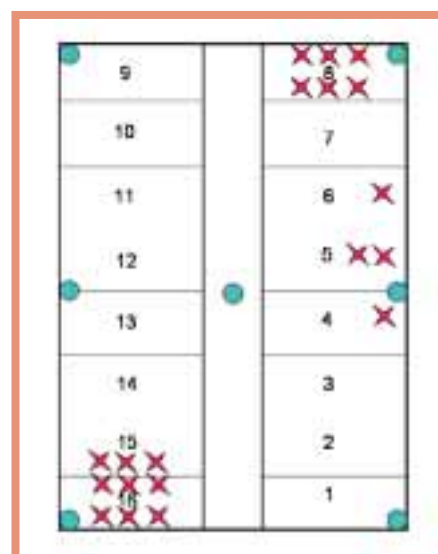
L'analisi della varianza condotta sulle differenze tra coordinate effettivamente misurate e coordinate stimate (scarti) ha mostrato quanto confermato dall'alto coefficiente di determinazione che tende all'unità. Il range dei test R² condotti sulle diverse configurazioni varia infatti da 0,9706 a 0,9994.

Infatti tra le coordinate X e Y (vedi tabella a) la differenza non risulta significativa ($P > 0,3$) e le medie delle differenze sono:

Per la x : -7 mm

Per la y : 6 mm

Ciò significa che la localizzazione effettiva della tosse del suino ricade in



▲ Figura f): mappatura degli attacchi di tosse stimata attraverso l'algoritmo di localizzazione della fonte sonora. La rappresentazione è la planimetria della stalla dove i riquadri numerati sono i box. L'ingresso si colloca nella parte inferiore della figura tra i box 1 e 16 e le quattro finestre si trovano due a due nei lati corti della sala

Tab. 1 - Riconoscimento del box di appartenenza dei valori stimati dall'algoritmo di localizzazione della fonte sonora

time	X-coordinate	Y-coordinate	Box nr
17m44s	0,2	4,2	15
33m00s	0,3	4,2	15
34m00s	0,3	4,4	15
52m20s	14	10,3	5
61m15s	1,8	3,3	16
78m20s	14	21	8
81m17s	13,1	19,2	8
84m40s	13,5	18,9	8
86m20s	13,1	18,6	8
98m10s	13,8	20,1	8
103m00s	14,0	8,6	4
107m10s	13,0	20,3	8
111m25s	13,9	11,3	5
113m25s	0	0	16
125m00s	7,7	14,7	6
136m45s	0	0	16
138m25s	0	0	16
149m15s	0,5	0,9	16
153m50s	0,1	0,1	16

un range (-7/6 mm) predefinito rispetto alle coordinate stimate dal modello.

Abbiamo perciò raggiunto un soddisfacente livello di precisione sulla localizzazione della fonte sonora.

RISULTATI E CONCLUSIONI

Dalla visione della disposizione delle tossi vediamo che la maggiore concentrazione è localizzata nei box sottostanti le finestre e quindi possiamo supporre che gli animali malati lo fossero perchè esposti a correnti d'aria. L'analisi del suono come strumento di



▲ Foto 3: preamplificatore e strumentazione per la registrazione del suono

diagnosi può affiancarsi alla veterinaria permettendoci di intervenire selettivamente solo nel box dei soggetti malati anziché applicare costosi interventi di massa e indirettamente ci può anche dare un'idea dell'eventuale mal progettazione delle nostre stalle allorché la tosse fosse causata da correnti d'aria mal direzionate sui nostri animali. L'analisi del suono si è resa importante strumento per localizzare le tossi di natura patologica negli allevamenti utilizzando registrazioni tramite 8 microfoni. Il metodo sta nell'utilizzare la differenza di tempo che serve ai microfoni per ricevere il segnale sonoro (time delay). Calcolando quindi il time delay e la differenza spaziale tra le diverse configurazioni di microfoni, per ogni punto della visione tridimensionale della stalla, abbiamo potuto localizzare la fonte sonora. I risultati dei test condotti, riproducendo il suono noto in

posizione nota mostrano la validità del metodo avendo una massima deviazione standard di 0,401 m. La media dell'errore di stima varia tra 0,219 m e 0,492 m dimostra la capacità dell'algoritmo di localizzare la fonte sonora. L'applicazione di tale metodica, nell'ambito della zootecnia di precisione, potrebbe essere uno strumento prezioso nelle mani dell'allevatore. Le informazioni riguardo le eventuali cause di tosse e la propagazione della malattia stessa possono essere utili per l'allevatore per migliorare le proprie misure di biosicurezza e decidere quali animali trattare o separare nel reparto quarantena, limitando anche il movimento di personale all'interno dei vari reparti più o meno affetti e assicurandosi che ci sia la minima interazione tra di essi e gli animali sani e malati dell'allevamento.

L'importanza della bioacustica deve



▲ Foto 4 e 5: installazione dei microfoni in porcellaia per la registrazione e localizzazione della tosse

essere valutata come strumento a basso costo a supporto delle decisioni gestionali dal punto di vista igienico-sanitario, economico e impiantistico dell'allevamento stando quindi a dimostrare l'utilità e la poliedricità di una tecnica innovativa e assolutamente non invasiva di indagine della salute degli animali.

BIBLIOGRAFIA CONSULTATA

- Chedad A., Moshou D., Aerts J.M., et al. (2001) - Recognition system for pig cough based on probabilistic neural networks. *Journal of agricultural engineering research*, 79 (4), 449-457.
- Frost A.R., Schofield C.P., Beaulah S.A. (1997) - A review of livestock monitoring and the need for integrated systems. *Computers and electronics in agriculture*, 17 (2), 139-159.
- Guarino M., Costa A., Van Hirtum A., Jans P., Ghesquiere K., Aerts J.- M., Berckmans D. (2004) - Field tests of an algorithm to predict infected pig coughing. *Annals of Animal Science. Suppl.*, 1, 61-65.
- Guarino M., Costa A. (2005) - Riconoscimento dell'acustica della tosse nel suino come metodo diagnostico precoce nell'ambito delle patologie respiratorie. *Rivista di Suinicultura*, 6, 26-31.
- Guarino M., Costa A., Patelli S., Jans P., Navarotto P., Berckmans D. (2004) - Field test of automatic recognition of infective cough in swine buildings. Third International Workshop On Smart Sensors in Livestock Monitoring, 10-11 September 2004, Leuven, Belgium. Pp. 60-62.
- Guarino M., Costa A., Van Hirtum A., Jans P., Ghesquiere K., Aerts J.M., Navarotto P.L., Berckmans D. (2004) - Automatic detection of infective pig coughing from continuous recording in field situations. *Rivista di Ingegneria Agraria*, 4, 9-13.
- Gustafsson T., Rao B.D., Trivedi M. (2003) - Source localization in reverberant environments: Modeling and statistical analysis. *Ieee transactions on speech and audio processing*, 11 (6), 791-803.
- Hayes S.A., Mellinger D.K., Croll D.A. (2000) - An inexpensive passive acoustic system for recording and localizing wild animal sounds. *Journal of the acoustical society of America*, 107 (6), 3552-3555.
- Jans P., Guarino M., Costa A., Aerts J.M., Berckmans D. (2004) - Algorithm for cough detection in pig houses. Ageng 2004 Conference. Engineering the Future, 12-16 Settembre, Leuven, Belgium, Part 1, pp. 180-181.
- Spiesberger J.L. (1999) - Locating animals from their sounds and tomography of the atmosphere: Experimental demonstration. *Journal of the acoustical society of America*, 106 (2), 837-846.
- Van Hirtum A., Berckmans D. (2002) - Automated recognition of spontaneous versus voluntary cough. *Medical engineering & physics*, 24 (7-8), 541-545.
- Van Hirtum A., Berckmans D. (2002) - Assessing the sound of cough towards vocality. *Medical engineering & physics*, 24 (7-8), 535-540.
- Van Hirtum A., Berckmans D. (2003) - Fuzzy approach for improved recognition of citric acid induced piglet coughing from continuous registration. *Journal of sound and vibration*, 266 (3), 677-686.
- Van Hirtum A., Guarino M., Costa A., Jans P., Ghesquiere K., Berckmans D., Navarotto P.L. (2003) - Automatic detection of chronic pig coughing from continuous registration in field situations. Proceedings of the 3rd International Workshop on Models and Analysis of Vocal Emissions for Biomedical Applications. Florence, 10-12 dicembre 2003. Pp. 251-254.
- Van Hirtum, A., Berckmans. D. (2004) - Objective cough-sound recognition as a biomarker for aerial factors. *Transactions of the Asae*, 47(1), 351-356.
- Spiesberger J.L. (2001) - The matched-lag filter: Detecting broadband multipath signals with auto- and cross-correlation functions (vol. 109, pg 1997, 2001). *Journal of the acoustical society of America*, 110 (3), 1696-1696.
- Wang X., Zhang Y., Zhao L.Y., Riskowski G.L. (2000) - Effect of ventilation rate on dust spatial distribution in a mechanically ventilated airspace. *Transactions of the Asae*, 43(6), 1877-1884.
- Wathes C.M., Jones J.B., Kristensen H.H., Jones E.K.M., Webster A.J.F. (2002) - Aversion of pigs and domestic fowl to atmospheric ammonia. *Transactions of the Asae*, 45(5), 1605-1610.