



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
FIRENZE

## FLORE

# Repository istituzionale dell'Università degli Studi di Firenze

### **Validazione di un sistema RFID a tag attivi per la localizzazione di suini in box multipli**

Questa è la Versione finale referata (Post print/Accepted manuscript) della seguente pubblicazione:

*Original Citation:*

Validazione di un sistema RFID a tag attivi per la localizzazione di suini in box multipli / M. BARBARI; G. CASCONI; C. ARCIDIACONO; S.M.C. PORTO; U. ANGUZZA; S. SIMONINI. - ELETTRONICO. - (2011), pp. 1-8. (Intervento presentato al convegno Convegno di Medio Termine - AIIA Associazione Italiana Ingegneria Agraria tenutosi a Belgirate nel 22-24 settembre 2011).

*Availability:*

This version is available at: 2158/605598 since: 2015-10-02T12:26:33Z

*Publisher:*

Les-éd

*Terms of use:*

Open Access

La pubblicazione è resa disponibile sotto le norme e i termini della licenza di deposito, secondo quanto stabilito dalla Policy per l'accesso aperto dell'Università degli Studi di Firenze (<https://www.sba.unifi.it/upload/policy-oa-2016-1.pdf>)

*Publisher copyright claim:*

(Article begins on next page)



## VALIDAZIONE DI UN SISTEMA RFID A TAG ATTIVI PER LA LOCALIZZAZIONE DI SUINI IN BOX MULTIPLI

S.M.C. Porto<sup>1</sup>, G. Cascone<sup>1</sup>, C. Arcidiacono<sup>1</sup>, U. Anguzza<sup>1</sup>, M. Barbari<sup>2</sup>, S. Simonini<sup>2</sup>

(1) Dipartimento di Gestione dei Sistemi Agroalimentari e Ambientali (Dipartimento GeSA), Sezione Costruzioni e Territorio, Università degli Studi di Catania.

(2) Dipartimento di Economia, Ingegneria, Scienze e Tecnologie Agrarie e Forestali (DEISTAF), Università degli Studi di Firenze.

### SOMMARIO

*I risultati di precedenti esperienze svolte in diverse condizioni di allevamento hanno dimostrato che i sistemi RFID basati su marcatori di posizione (position markers) consentono di rilevare in tempo reale la presenza di animali all'interno di aree delimitate da anelli induttivi (induction loops). Tuttavia, da tali esperienze sono emersi alcuni svantaggi riconducibili principalmente al costo dei marcatori di posizione e agli oneri di installazione degli anelli induttivi.*

*Il presente studio ha come obiettivo la messa a punto di un sistema di riconoscimento e localizzazione di tipo RFID a tag attivi alternativo a quello basato sull'utilizzazione di marcatori di posizione. In particolare, il sistema oggetto dello studio ha previsto l'impiego delle medesime componenti hardware utilizzate nelle precedenti esperienze, ha escluso l'uso di anelli induttivi e marcatori di posizione, e ha comportato l'implementazione di un algoritmo di identificazione e localizzazione basato sull'impiego di tag attivi di riferimento. Il sistema è stato inizialmente testato in laboratorio e, successivamente, applicato ad un gruppo di suini stabulati in un box all'aperto dotato di area di riposo al chiuso.*

*Parole chiave: tag, RTLS, identificazione, localizzazione, LANDMARC.*

### 1 INTRODUZIONE

Numerosi studi hanno dimostrato che la tecnologia RFID (*Radio Frequency Identification*) basata sull'impiego di *tag* passivi o di *tag* attivi permette di identificare e localizzare singoli animali in specifiche zone funzionali individuabili all'interno di soluzioni edilizie utilizzate per gli allevamenti intensivi (Barbari, 2005; Eigenberg *et al.*, 2005; Reiners *et al.*, 2009; Schwartzkopf-Genswein *et al.*, 1999; Sowell *et al.*, 1998). In particolare, la tecnologia RFID basata sull'impiego di *tag* attivi consente il monitoraggio a distanza degli animali senza interferire con il loro comportamento che, pertanto, può essere studiato nel tempo e nello spazio (Barbari *et al.*, 2008a; Barbari *et al.*, 2008b; Hutchings *et al.*, 1996; Swain *et al.*, 2003). Alcune sperimentazioni condotte in differenti ambienti di allevamento (Simonini, 2009) hanno dimostrato che i sistemi RFID che impiegano *tag* attivi e marcatori di posizione permettono l'identificazione di

animali all'interno di aree delimitate da anelli induttivi. Tuttavia, tali sistemi non consentono di conoscere la posizione di un animale all'interno di una data zona funzionale, ma registrano unicamente se esso, identificato da un *tag* attivo, si trovi all'interno dell'anello induttivo collegato a uno specifico marcatore di posizione, che segna il confine di una data zona funzionale rispetto alle altre ad essa adiacenti. Il costo di tale sistema aumenta considerevolmente allorché sia necessario monitorare un numero elevato di aree. I marcatori di posizione, infatti, hanno un costo elevato e i relativi anelli induttivi possono richiedere oneri di installazione rilevanti in relazione alle dimensioni e alle caratteristiche delle aree da perimetrare. Inoltre, potrebbero verificarsi interferenze tra gli anelli induttivi qualora essi, a causa delle caratteristiche dell'ambiente da monitorare, siano installati a distanze reciproche ridotte.

Sulla base delle considerazioni sin qui esposte, il presente studio propone una soluzione di impiego del sistema RFID basato su *tag* attivi alternativa a quella che utilizza marcatori di posizione e anelli induttivi. Tale sistema prevede la collocazione di *tag* di riferimento (*reference tags*) all'interno dell'ambiente e di *tag* da tracciare (*tracking tags*) applicati sul corpo dell'animale. I dati forniti da ciascun *tag* vengono elaborati da un apposito algoritmo per l'identificazione e la localizzazione degli animali. Il sistema è stato testato all'interno del laboratorio della sezione Costruzioni e Territorio del Dipartimento di Gestione dei Sistemi Agroalimentari e Ambientali (Dipartimento GeSA) dell'Università di Catania.

Il presente lavoro mostra i risultati conseguiti mediante l'applicazione del sistema proposto a un gruppo di suini stabulati in un box all'aperto dotato di area di riposo al chiuso.

## 2 MATERIALI E METODI

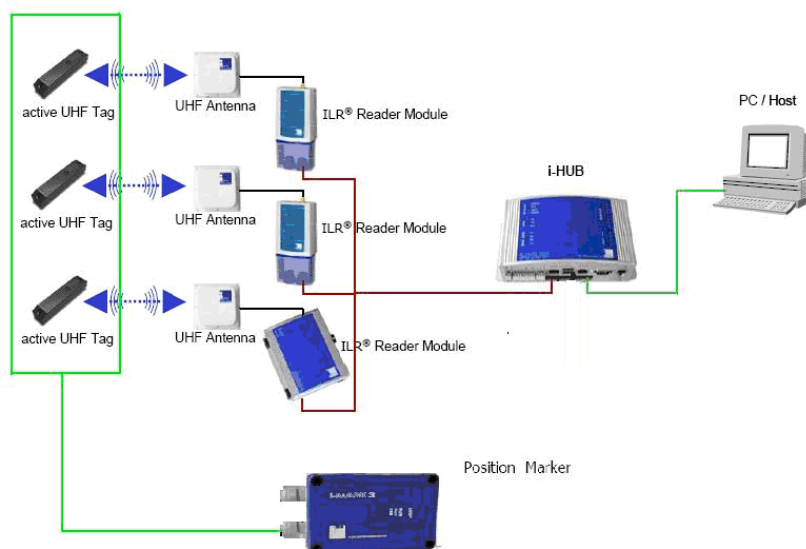
### 2.1 L'hardware del sistema

Nell'ambito di alcune ricerche condotte presso il Dipartimento di Economia, Ingegneria, Scienze e Tecnologie Agrarie e Forestali (DEISTAF) dell'Università di Firenze (Simonini, 2009), è stato impiegato un sistema basato su *tag* attivi e marcatori di posizione per la localizzazione di animali stabulati in differenti ambienti di allevamento. Il sistema, prodotto da IDENTEC Solution<sup>TM</sup>, è costituito da un software per l'acquisizione dei dati e dai seguenti componenti hardware: *tag* attivi di tipo *beacon*, lettori (*readers*), antenne (*reader antennas*), marcatori di posizione (*markers*), anelli induttivi (*induction loops*) (v. Fig. 1).

I *tag* attivi, che utilizzano una tecnologia avanzata su radiofrequenza UHF (868 MHz e 915 MHz frequenze di banda per la comunità europea (EC) e per il nord America (NA)), inviano dati a distanze sino a 100 m verso le antenne dei *readers* (*reader antennas*) e trasmettono ad intervalli regolari i loro numeri di identificazione. Il *ping-rate*, cioè l'intervallo di tempo tra due trasmissioni consecutive, può essere fissato da un minimo di 1 secondo sino a un massimo di 4 minuti. I *tag* hanno dimensioni 131 × 28 × 21 mm, pesano circa 50 g e hanno un livello di protezione IP65 o IP67. L'intervallo di temperatura operativa dei *tag* è compreso tra - 40°C e + 70°C.

I *reader* sono connessi al computer e ricevono segnali dalle antenne. Ciascun *reader* può identificare più di 100 *tag* contemporaneamente. L'elevata velocità di trasmissione consente la comunicazione anche con *tag* che si spostano velocemente.

Le antenne dei *reader* possono coprire distanze dai *tag* che vanno da pochi centimetri sino a 100 m in un'area priva di ostacoli. La superficie coperta dipende dal numero di antenne. Le antenne RFID polarizzate ellitticamente lavorano a una frequenza radio di 870/915 MHz con un angolo di irradiazione pari a 120°.



**Figura 1.** Schema di funzionamento di un sistema RFID di tipo attivo con marcatore di posizione. In verde è rappresentato l'anello induttivo collegato al marcatore di posizione.

I marcatori di posizione sono dotati di un'antenna integrata denominata "anello induttivo" costituito da un cavo elettrico. L'anello può delimitare aree di superficie sino a 100 m<sup>2</sup>. Quando un *tag* attraversa il campo magnetico generato da un anello induttivo invia al *reader* insieme al proprio identificatore anche il numero di identificazione del marcatore.

L'hardware descritto, con l'esclusione dei marcatori di posizione e dei relativi anelli induttivi che rappresentano la parte più costosa del sistema, è stato utilizzato nel presente lavoro per sviluppare il sistema RFID di tipo attivo di seguito illustrato.

## 2.2 L'algoritmo sviluppato per la localizzazione

Il sistema RFID di tipo attivo proposto in questo studio utilizza il LANDMARC (LocAtioN iDentification based on dynaMic Active Rfid Calibration), un sistema di rilevamento della posizione basato sulla tecnologia RFID con *tag* attivi per localizzare oggetti all'interno di ambienti chiusi (Ni *et al.*, 2003). In particolare, il sistema permette di stimare in tempo reale la posizione di uno o più *tag* da tracciare considerando un numero  $n$  di *tag* di riferimento, collocati in posizione nota all'interno dell'area di interesse, e i quattro valori di attenuazione di potenza del segnale (*Receive signal strenght indicator* (RSSI)) emesso da ciascun *tag* e ricevuto contemporaneamente da quattro nodi ricevitori, ciascuno composto da un *reader* e da un'antenna.

A intervalli prestabiliti, l'algoritmo di calcolo determina, per ciascun *tag* da tracciare e per ciascun *tag* di riferimento, un vettore contenente i valori di attenuazione di potenza dei segnali ricevuti dai quattro nodi. Successivamente, l'algoritmo valuta le  $n$  distanze euclidee  $E_n$  tra i vettori dei *tag* da tracciare e i vettori relativi a ciascuno degli  $n$  *tag* di riferimento. Le coordinate che individuano la posizione incognita del *tag* da tracciare si ottengono mediante la formula:

$$(x, y) = \sum_{k=1}^4 w_k (x_k, y_k) \quad (1)$$

in cui  $x_k$  e  $y_k$  sono le coordinate dei quattro *tag* di riferimento per i quali il valore della distanza euclidea  $E_i$  è risultato minore di quello calcolato per gli altri  $n-4$  *tag* di riferimento. I valori dei pesi  $w_k$  attribuibili a ciascuna coppia di coordinate si calcolano mediante la seguente relazione:

$$w_k = \frac{1}{E_k^2} \sum_{i=1}^4 \frac{1}{E_i^2} \quad (2)$$

Un software appositamente sviluppato nel presente studio consente la visualizzazione di uno schema planimetrico dell'ambiente da monitorare sul quale è possibile fissare un sistema di riferimento cartesiano. Successivamente, il software richiede una fase di settaggio dei *tag* da tracciare e dei *tag* di riferimento. Per questi ultimi, il software richiede l'inserimento dei valori delle coordinate che ne individuano la posizione. Le coordinate delle posizioni dei *tag* da tracciare sono calcolate dall'algoritmo a intervalli di tempo prestabiliti.

Al fine di verificare l'attendibilità del sistema, sono state condotte una serie di prove presso il laboratorio della sezione Costruzioni e Territorio del Dipartimento di Gestione dei Sistemi Agroalimentari e Ambientali (Dipartimento GeSA) dell'Università di Catania. In particolare, un *tag* testimone è stato posizionato in corrispondenza dei punti di incrocio di una griglia a maglie quadrate di lato 0,66 m. Poiché l'area da monitorare aveva forma rettangolare di dimensioni 11,2 m × 7,3 m, sono stati individuati 160 punti. Le coordinate di ciascun punto sono state confrontate con quelle calcolate dall'algoritmo. L'errore posizionamento è stato mediamente di 1,8 m, e il 90° percentile è risultato di 2,6 m. Tali risultati di laboratorio suggeriscono che l'impiego del sistema di posizionamento proposto è affidabile per la localizzazione di animali all'interno di aree funzionali al chiuso di forma quadrata o rettangolare con lati di dimensioni superiori a 1,8 m.

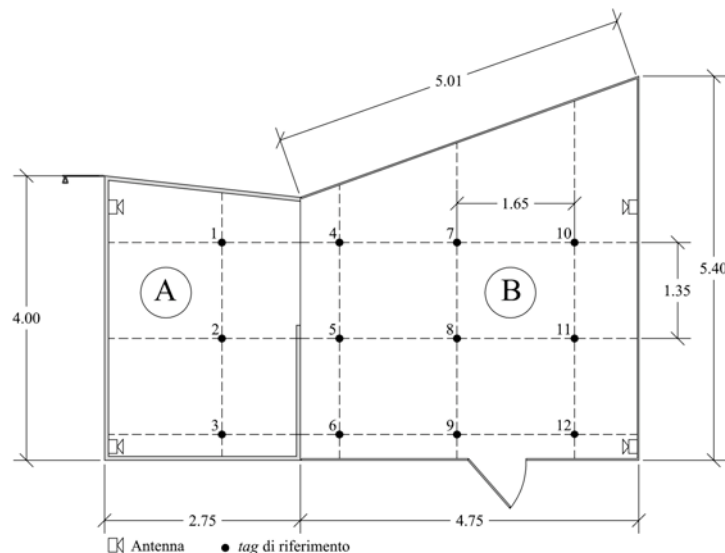
### 2.3 La sperimentazione in campo

La sperimentazione in campo ha riguardato la localizzazione di quattro suini all'interno di un box multiplo con zona di riposo al coperto e zona di esercizio all'aperto (v. Fig. 2). L'area di riposo, delimitata da pareti e copertura in legno, ha forma di trapezio rettangolo con base maggiore di circa 4,00 m, base minore di circa 3,70 m e altezza di circa 2,75 m. L'area di esercizio, anch'essa di forma trapezoide, è adiacente a quella di riposo lungo la base minore ed ha l'altro lato di lunghezza pari a circa 5,40 m, mentre l'altezza è di circa 4,75 m. La zona di esercizio è delimitata da una rete metallica. Le lunghezze dei lati delle due aree funzionali considerate sono tutte

maggiori di 1,8 m, valore pari all'errore medio di localizzazione ottenuto in laboratorio. Ai suini era consentito di muoversi liberamente all'interno del box. Gli alimenti venivano distribuiti due volte al giorno e la paglia della lettiera veniva aggiunta due volte la settimana.

La prova è stata condotta dal 9 al 25 febbraio 2011 presso l'area sperimentale (43°47'5.88"N, 11°13'17.18"E) della Facoltà di Agraria dell'Università degli Studi di Firenze.

In tale prova sono stati utilizzati i seguenti componenti hardware prodotti dalla IDENTEC Solutions™: 2 *reader*, 2 antenne per ciascun *reader*, 16 *tag* attivi di cui 12 di riferimento (*reference tags*) e 4 (*tracking tags*) utilizzati per l'identificazione dei quattro suini. Il *ping-rate* dei *tag* è stato settato pari a 5 secondi. Inoltre, è stato impiegato un computer per l'esecuzione dell'algoritmo e la registrazione dei dati misurati.



**Figura 2.** Schema planimetrico del box per suini e della maglia dei *tag* di riferimento disposti nelle due aree analizzate: A) area di riposo, B) area di esercizio. La figura mostra anche la collocazione delle quattro antenne dei nodi ricevitori.

Le antenne sono state montate all'interno del box a un'altezza di circa 1,8 m e disposte così come rappresentato in Figura 2.

I *tag* di riferimento sono stati collocati all'interno del box nei vertici di un reticolato a maglie rettangolari di dimensioni 1,65 m × 1,35 m (v. Fig. 2), disposto ad un'altezza di circa 1,80 m da terra. Quattro *tag* da tracciare sono stati applicati ai quattro suini stabulati all'interno del box utilizzando dei collari.

Al fine di verificare la precisione del sistema di identificazione e localizzazione degli animali è stato installato un sistema di videoripresa composto da 2 videocamere Sony™ 1/3" a colori ad alta risoluzione, dotate di lente a focale variabile per visione diurna e notturna e di corpo-macchina impermeabilizzato, e da un videoregistratore dotato di un hard disk. Tali videocamere sono state installate all'interno della zona di riposo e nell'area di esercizio all'aperto. Gli animali sono stati marcati sul dorso con un

segno di riconoscimento al fine di poterli identificare nel filmato; anche i *tag* da tracciare sono stati colorati per migliorarne la visibilità. Al fine di potere effettuare un stima degli errori commessi dal software sul calcolo delle posizioni occupate dai quattro suini, la griglia dei *tag* di riferimento è stata rappresentata sulla pavimentazione del box disegnando un segno in corrispondenza della proiezione in pianta di ciascun *tag* di riferimento.

### **3 RISULTATI E DISCUSSIONE**

Si riportano nel seguito i risultati ottenuti durante uno dei 16 giorni consecutivi in cui è stata svolta la prova relativi a uno dei quattro suini monitorati. Il giorno è stato scelto fra quelli in cui l'identificazione visiva dei suini mediante le telecamere è risultata più attendibile, scartando i giorni in cui le condizioni ambientali (intensità di luce, pioggia, riflessione della luce sul dorso degli animali) hanno reso difficoltoso il riconoscimento visivo del segno marcato sul dorso degli animali.

Mediante l'osservazione dei filmati è stata annotata la presenza dei quattro animali nell'area di riposo e nell'area di esercizio. In particolare, per ciascun animale identificato nella scena mediante il segno di riconoscimento sul dorso, è stata annotata l'area funzionale in cui esso si trovava e l'istante di acquisizione della scena. Tali informazioni sono state archiviate in un foglio elettronico.

La verifica è stata effettuata confrontando i dati riportati nel foglio elettronico con quelli provenienti dal sistema RFID di identificazione e localizzazione. A tal fine sono state selezionate 13.844 scene acquisite in istanti coincidenti con quelli di rilevamento della posizione del *tag* applicato al suino monitorato.

Poiché la griglia dei *tag* di riferimento riportata sulla pavimentazione del box non è risultata sempre completamente visibile a causa della presenza degli animali, della lettiera e degli alimenti che venivano distribuiti a terra, non è stato possibile confrontare le posizioni occupate dal suino monitorato con le coordinate calcolate dall'algoritmo. Pertanto, i risultati di seguito descritti si riferiscono soltanto alla capacità del sistema di rilevare la presenza del suino monitorato all'interno delle due aree considerate (v. Tab. 1). In particolare, per ciascuna area considerata, sono state riportate le seguenti informazioni relative all'animale monitorato: numero di presenze rilevate dall'osservazione delle riprese video, numero di presenze rilevate dal sistema automatico di identificazione e localizzazione e relativo errore percentuale.

L'errore nell'area di riposo è stato di circa il 17% mentre quello relativo all'area di esercizio è stato di circa il 39%. Il risultato conseguito nell'area di riposo conferma che il sistema ha una buona attendibilità per la localizzazione degli animali all'interno di ambienti al chiuso. Pertanto, nell'ambito del monitoraggio del comportamento di suini allevati in box multipli con zona di esercizio all'aperto, esso rappresenta una valida alternativa all'uso di marcatori di posizione per rilevare la presenza e la permanenza degli animali all'interno dell'area di riposo.

L'incremento dell'errore registrato nei casi in cui il suino si trova nell'area di esercizio, superiore di circa il 22% rispetto a quello riscontrato per l'area di riposo, è probabilmente attribuibile alla presenza della rete metallica utilizzata per la recinzione del box. Infatti, date le dimensioni ridotte dell'ambiente monitorato rispetto alla distanza di trasmissione dei *tag*, la rete metallica si comporta come un ripetitore passivo del segnale UHF emesso dai *tag*. Pertanto, l'algoritmo commette errori nel calcolo della

posizione del *tag* da tracciare poiché non è in grado di discernere i valori di attenuazione di potenza del segnale emessi dai *tag* da quelli riflessi dalla rete metallica. L'errore di localizzazione nell'area di esercizio all'aperto potrebbe essere sensibilmente ridotto adottando tipi di recinzione alternativi alla rete metallica come, ad esempio, muri realizzati con mattoni di laterizio, con blocchi di pietra o di calcestruzzo. La possibilità di impiego di tubolari in acciaio per la realizzazione della recinzione del box dovrebbe essere verificata tramite un'ulteriore sperimentazione, poiché i segnali emessi dai *tag* e ricevuti dalle antenne possono essere alterati dalla presenza di materiali ferro-magnetici collocati nelle loro vicinanze.

Il sistema proposto nel presente studio consente di ridurre i costi connessi con la realizzazione dell'impianto. Ad esempio, nella sperimentazione compiuta il sistema ha consentito il monitoraggio dell'area di riposo con un costo inferiore rispetto a quello necessario per l'installazione di un marcatore di posizione e del relativo anello induttivo. Inoltre, allorché fosse stato necessario monitorare ulteriori aree all'interno dell'ambiente di stabulazione, il costo del sistema proposto non avrebbe subito incrementi.

Area	Numero di presenze rilevate dall'operatore	Numero di presenze rilevate dal sistema	Errore %
Area di esercizio	3786	2315	38,85%
Area di riposo	10058	8391	16,57%

**Tabella 1.** Errore percentuale commesso dal sistema automatico di identificazione e localizzazione calcolato per ciascuna area considerata.

#### 4 CONCLUSIONI

Il lavoro svolto ha messo in evidenza la possibilità di impiegare un sistema di localizzazione alternativo a quello basato su *tag* attivi e marcatori di posizione. In particolare, l'ambiente di allevamento scelto per la sperimentazione ha consentito di verificare l'affidabilità del sistema nel caso di zone funzionali al chiuso aventi dimensioni non inferiori all'errore medio di localizzazione riscontrato in laboratorio. Inoltre, la presenza dell'area di esercizio all'aperto ha consentito di valutare il funzionamento del sistema anche nel caso di spazi all'aperto che possono presentare condizioni ambientali differenti da quelle testate in laboratorio nell'ambito di aree di riposo di box multipli per suini.

Nell'ipotesi di adottare hardware analogo a quello sperimentato nel presente lavoro, l'uso dei marcatori di posizione rimane comunque indispensabile per rilevare la presenza dei suini nell'area di alimentazione e di abbeverata. Tali aree, infatti, presentano caratteristiche dimensionali non compatibili con l'errore medio di posizionamento commesso dal sistema proposto in questo studio.

Infine, la presenza di reti metalliche ha influenzato negativamente i risultati relativi alla localizzazione degli animali nell'area di esercizio all'aperto. Si ritiene che la realizzazione della recinzione di tali aree impiegando materiali, tecniche e tipologie costruttive che non influenzano i segnali emessi dai *tag* possa ridurre gli errori commessi dall'algoritmo nella localizzazione degli animali.



**Ringraziamenti.** Alcune delle attività che hanno fornito lo spunto per la stesura del presente lavoro sono state finanziate dal MIUR nell'ambito del PRIN 2008, alle Unità di ricerca del Dipartimento di Economia, Ingegneria, Scienze e Tecnologie Agrarie e Forestali dell'Università degli Studi di Firenze e al Dipartimento di Gestione dei sistemi agroalimentari e ambientali, Sezione Costruzioni e Territorio, dell'Università di Catania.

#### BIBLIOGRAFIA

- Barbari, M. Planning individual showering systems for pregnant sows in dynamics groups. *Proc. VII Intern. symposium ASAE on Livestock Environment*, 2005, Beijing 120-137.
- Barbari, M., Conti, L., Simonini, S. Spatial identification of animals in different breeding systems to monitor behaviour, *Proceedings of the VIII Congress on Livestock Environment*. Iguassu Falls, Brazil, 31 Agosto - 4 Settembre 2008a, vol. VIII, pp. 1-6.
- Barbari, M., Conti, L., Simonini, S., Sorbetti Guerri, F. Feeding behaviour of pregnant sows monitored by means of RFID active tags, *Proceedings of the V CIGR Congress and AIIA*, Ragusa, Italia, 15-17 Settembre 2008b, pp. 1-6.
- Eigenberg, R. A., Brown-Brandl, T. M., Nienaber, J. A., Hahn, G.L. 2005. Development of a cattle ID monitoring system. *Proc. VII Intern. Symposium ASAE on Livestock Environment*. 18-20 May 2005, 600-606.
- Hutchings, M.R., Harris S. An active transponder system for remotely monitoring animal activity at specific sites. *Journal of zoology*, 1996, 240, 798-804.
- Ni, L. M., Liu, Y., Lau, Y. C., Patil, A. P. LANDMARC: Indoor Location Sensing Using Active RFID. *Proceedings of the First IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications (PerCom '03)*, 2003.
- Reiners, K., Hegger, A., Hessel, E. F., Böck, S., Wendl, G., Van denWeghea, H. F. A. Application of RFID technology using passive HF transponders for the individual identification of weaned piglets at the feed trough. *Computer and electronics in agriculture*, 2009, 68, 178-184.
- Schwartzkopf-Genswein, K.S., Huisma, C., McAllister, T.A. Validation of a radio frequency identification system for monitoring the feeding patterns of feedlot cattle. *Livestock Production Science*, 1999, 60 (1), 27-31.
- Simonini, S. Farm Animal Identification and Spotting Case Study: RFID Active Tags with Marked Area, Tesi di dottorato in Ingegneria Agro-forestale, Dipartimento di Ingegneria Agraria e Forestale, Università degli Studi di Firenze, 2009.
- Sowell, B.F., Bowman, J.G.P., Branine, M.E., Hubbert, M.E. Radio frequency technology to measure feeding behavior and health of feedlot steers. *Applied Animal Behaviour Science*, 1998, 59 (4), 277-284.
- Swain, D.L., Wilson, L.A., Dickinson, J. Evaluation of an active transponder system to monitor spatial and temporal location of cattle within patches of a grazed sward. *Applied Animal Behaviour Science*, 2003, 84(3), 185-195.