



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
FIRENZE

## FLORE

# Repository istituzionale dell'Università degli Studi di Firenze

### **Studio di filiere agricole sostenibili per la produzione di balle di paglia da costruzione - Risultati preliminari**

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

*Original Citation:*

Studio di filiere agricole sostenibili per la produzione di balle di paglia da costruzione - Risultati preliminari / Leonardo Conti; Riccardo Dainelli; Paolo Pellegrini; Paolo Spugnoli ; Luca Bonotti. - ELETTRONICO. - 1:(2013), pp. 239-250. ( L'edilizia rurale tra sviluppo tecnologico e tutela del territorio firenze 20-22 settembre 2012).

*Availability:*

The webpage <https://hdl.handle.net/2158/814287> of the repository was last updated on

*Publisher:*

FUP- Firenze University Press

*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:*

La data sopra indicata si riferisce all'ultimo aggiornamento della scheda del Repository FloRe - The above-mentioned date refers to the last update of the record in the Institutional Repository FloRe

(Article begins on next page)

## **STUDIO DI FILIERE AGRICOLE SOSTENIBILI PER LA PRODUZIONE DI BALLE DI PAGLIA DA COSTRUZIONE – RISULTATI PRELIMINARI**

Conti<sup>1</sup> L., Dainelli R., Pellegrini P., Bonotti L., Spugnoli P.

1. Dipartimento di Economia, Ingegneria, Scienze e Tecnologie Agrarie e Forestali (DEISTAF), Università degli Studi di Firenze, Via San Bonaventura, 13 – 50145 Firenze.

### **Riassunto**

Di fronte al contesto economico attuale di forte recessione e alla contemporanea presa di coscienza delle problematiche ambientali connesse all'utilizzo razionale delle risorse naturali, la ricerca si pone l'obiettivo di perseguire l'impiego della paglia compressa in balle come materiale da costruzione e di trovare una collocazione diversa sul mercato.

Al fine di pianificare percorsi strategici in grado di massimizzare l'utilizzo della materia prima agricola "paglia" nel settore edilizio, il presente studio intende analizzare l'offerta della risorsa con un censimento delle produzioni su scala regionale (Toscana). L'indagine rivolta alle aziende agricole ad indirizzo cerealicolo, consentirà di sensibilizzare gli agricoltori e di fornire un quadro esaustivo sulle prospettive di attivazione di un mercato della paglia. In tal senso, la predisposizione di un questionario è stata finalizzata a raccogliere informazioni sui principali indirizzi colturali aziendali, sulle modalità di raccolta e stoccaggio del materiale e sul grado di conoscenza da parte degli imprenditori agricoli dei bio-materiali per uso costruttivo.

La verifica di un utilizzo alternativo di un prodotto ormai di scarsa remunerazione per le aziende agricole, potrebbe rappresentare, da un lato una fonte di reddito aggiuntiva, creando nuove opportunità commerciali e permettendo di colmare il gap con altri paesi UE, sostenitori, da anni, di sistemi costruttivi combinati in paglia per l'edilizia residenziale e produttiva, e dall'altro un'opportunità di diffusione dell'impiego di tale materiale nell'ambito delle stesse aziende, per la realizzazione di fabbricati di esercizio per le produzioni agricole.

Parole chiave: Bio-materiali, Sostenibilità ambientale, Censimento produzioni, Edifici a basso consumo di energia

### **Summary**

*Facing the economic context of recession and the strong awareness of environmental issues related to a rational exploitation of natural resources, the research aims to place on the market cereal straw as a renewable building material.*

*In order to plan strategic pathways that develop the use of this raw material in the construction sector, this study aims to analyze the supply of straw through a regional scale census of cereal yield. The survey addresses cereal farms to raise awareness among farmers and to provide a comprehensive perspective on a straw-targeted market. In this context, an online questionnaire is aimed at gathering information on key farm businesses, on straw collection and storage and on the knowledge among farmers of biomaterials available for construction.*

*The alternative use of a product, that has a low return for farmers, could be a source of additional income, creating new business opportunities with limited technological investments. Such a new market could also make it possible to bridge the gap with other EU countries, in which combined wood and straw building systems for residential and productive*

*purposes (e.g. agricultural sector) have spread for years.*

*Keywords: Biomaterials, Environmental sustainability, Straw yield census, Low energy buildings*

## **1. INTRODUZIONE**

Negli ultimi anni si sta diffondendo il concetto di tutela ambientale e di conservazione del paesaggio da attuare attraverso una pianificazione equilibrata del territorio fondata sull'utilizzo sostenibile delle risorse naturali. In questa ottica va inteso il previsto impiego nelle costruzioni e nelle infrastrutture per l'edilizia abitativa e produttiva di materiali naturali, quali il legno massiccio, la paglia, la terra cruda e di tutti quei materiali poveri nei quali la distanza energetica tra la materia prima e il semilavorato pronto all'impiego è ridotta ai minimi termini (Sorbeti Guerri et al., 2009; Conti et al., 2010). L'utilizzo di materiali rinnovabili di antica tradizione, in particolare nelle costruzioni agricole, richiede di essere attualizzato, creando solide basi tecnico-scientifiche e modalità d'impiego tecnicamente corrette e ripetibili. Negli anni sono state individuate le più opportune e convenienti combinazioni fra i vari materiali, al fine di dar luogo ad una caratterizzazione tecnica relativa alle peculiari proprietà dei materiali locali, e ad una definizione razionale e sistematica dei processi produttivi e costruttivi (King, 1997; Steen Swentzell et al., 1995; Lacinski et al., 2000; Jones, 2006).

In alcuni Paesi (Stati Uniti, Gran Bretagna, Francia, ecc.), dove le potenzialità costruttive della paglia sono conosciute e comprovate, si costruiscono circa 1000 nuovi edifici l'anno in paglia; in particolare, in California, New Mexico ed Arizona sono state emanate norme tecniche che equiparano la paglia ai materiali costruttivi tradizionali (Eisemberg, 1996; King, 2001 e 2006). In Italia la modesta conoscenza tecnica del materiale e di conseguenza le limitatissime progettazioni esecutive dei manufatti, ha determinato l'assenza di un'effettiva filiera per la produzione di balle ad uso costruttivo. L'impiego marginale della paglia anche per uso agro-zootecnico ha determinato un'evidente dismissione funzionale delle presse raccogliatrici a stantuffo in favore di imballatrici per balle prismatiche di grandi dimensioni o di rotoimballatrici (Sokhansanj et al., 2008). Tali macchinari rappresentano, attualmente, le soluzioni più diffuse per la raccolta della paglia, in quanto garantiscono elevati rendimenti in tutte le fasi di lavorazione oltre ad un contenuto fabbisogno di manodopera. Negli anni si sono evoluti cantieri di meccanizzazione per lo stoccaggio e il trasporto di grandi quantitativi di paglia (Kadam et al., 2000), che ottimizzano l'impiego delle macchine e della manodopera (Nilsson, 1999) ma che non si prestano per la raccolta di balle prismatiche di modeste dimensioni come quelle idonee agli impieghi edilizi.

In Italia la coltivazione dei cereali occupa una superficie di circa 3 milioni di ettari; il frumento duro è la coltivazione più diffusa, seguita da mais, frumento tenero e orzo. Da qualche anno si assiste a una crisi crescente del settore cerealicolo dovuta all'aumento dei costi di produzione e al calo dei prezzi di mercato all'origine. Ciò che accade per la granella, si verifica ancor più per il prodotto paglia, considerato un materiale di scarto della filiera. Lo scarso reimpiego per esigenze agronomiche e zootecniche, ha determinato quindi una contrazione del mercato della paglia con oscillanti quotazioni economiche, rafforzate da modeste prospettive di convenienza nelle fasi di raccolta e post-raccolta. Per un'accurata razionalizzazione di queste fasi è fondamentale conoscere la quantità di paglia prodotta (Allen, 1988) e le caratteristiche delle balle richieste per un'ottimale messa in opera. In generale, gli studi che analizzano le caratteristiche delle balle non sono numerosi, quasi inesistenti a livello nazionale, e si limitano alla stima del peso delle balle direttamente in

campo (Maguire et al., 2007), dell'umidità e della densità (Sultana e Kumar, 2011): nessuna di queste proprietà è messa però in relazione con l'idoneità delle balle per utilizzo costruttivo.

Per quanto riguarda la sostenibilità del ciclo di vita dei prodotti agricoli è ampiamente usata la metodologia *Life Cycle Assessment* (Schmidt, 2008; Spugnoli et al., 2009), sia nel classico approccio attribuzionale (Spugnoli et al., 2010) sia nel cosiddetto approccio consequenziale (Kimming et al., 2011), teso a valutare le conseguenze ambientali indirette di un uso alternativo di un prodotto (Finnveden et al., 2009). I carichi ambientali sono stati valutati soprattutto per quanto riguarda l'uso della paglia a scopi energetici (Gabrielle e Gagnaire, 2008) o come materia prima per bioraffineria (Cherubini e Ulgiati, 2010). In letteratura non si trovano studi LCA sull'utilizzo delle balle di paglia come materiale edile; la valutazione di materiali ecocompatibili è limitata a strutture residenziali in pannelli modulari in legno (Monahan e Powell, 2011).

Si ritiene pertanto necessario analizzare la peculiarità toscana, al fine di verificare l'effettiva potenzialità di filiere agricole sostenibili complete, al pari di quelle già attive in alcuni paesi europei (King, 2006), per la produzione e commercializzazione di balle di paglia come materiale da costruzione.

## 2. METODOLOGIA

### 2.1. INDAGINE SULL'UTILIZZO DELLA PAGLIA IN TOSCANA

Il presente studio si pone l'obiettivo di analizzare l'offerta della risorsa "paglia" con un censimento delle produzioni su scala regionale (Toscana). L'indagine conoscitiva e informativa rivolta alle aziende agricole ad indirizzo cerealicolo, consente di sensibilizzare gli agricoltori e fornire un quadro esaustivo sulle prospettive di attivazione di un mercato della paglia. Tale indagine, tuttora in corso di svolgimento, è condotta attraverso la distribuzione alle aziende agricole di un questionario *online* (Fig. 1), al fine di creare un *database* dinamico rappresentativo degli scenari produttivi attuali e potenziali.

A tal riguardo il censimento, attraverso un approccio partecipato e condiviso, coinvolgerà, oltre alle imprese anche tecnici e operatori di settore, anche le principali associazioni agricole di categoria e le più importanti organizzazioni di produttori di cereali del territorio regionale. Il questionario è strutturato in tre parti, relative all'identificazione della tipologia aziendale, ai principali indirizzi colturali e al grado di conoscenza da parte degli imprenditori agricoli dei materiali da costruzione di origine biologica. In particolare, saranno raccolte informazioni sulle tipologie colturali, sui quantitativi prodotti, sulle modalità di raccolta e stoccaggio, oltre che sugli utilizzi stessi della materia prima (uso aziendale, cessione a terzi, inutilizzo, ecc.). Le azioni di informazione e la successiva raccolta e gestione dati saranno effettuate attraverso l'utilizzo di *Adobe Acrobat X Pro*, un software dedicato che permetterà di monitorare con facilità la compilazione del modulo e di esportarne i dati sotto forma di *report* per valutazioni quantitative, anche in termini previsionali, delle risorse prodotte.

**Università degli studi di firenze**  
**Facoltà di agraria -DEISTAF**  
in collaborazione con  
**Edilpaglia-Associazione italiana edilizia in paglia**  
presenta:

**La rivoluzione del filo di paglia**

Questionario mirato alla realizzazione di un'indagine conoscitiva, sul territorio regionale toscano, della produzione di paglia e del suo possibile utilizzo come materiale costruttivo ed isolante.

Per maggiori informazioni:  
Unifi ed Edilpaglia-La paglia da costruzione

**QUESTIONARIO**

DATI PERSONALI

NOME AZIENDA O NOME E COGNOME\*

INDIRIZZO\*

COMUNE\*

PROVINCIA (SIGLA)\*

REGIONE\*

TEL\*

LA TUA AZIENDA

1. La tua azienda produce paglia?  
 SI  NO

2. Di quale tipologia colturale?:  
 Avena  Frumento  Mais  Orzo  Riso  
 Segale  
 Altro(specificare):

3. In che quantità?(indicare le quantità per tipo)?:

4. In che modo la raccogli?  
 In proprio  Tramite contoterzisti

5. In che modo viene stoccata?  
 ballette  balloni  rotoballe  
 Altro:

6. Cosa fai con la paglia :  
 Uso in azienda  Cessione a terzi  Inutilizzo  
 Altro:

7. Tipologia azienda  
 Az. Agricola  Az. Zootecnica  Az. Agrituristica  Agricamping  
 Az. Forestale  Fattoria didattica  Centro equestre  
 Altro

8. Produzioni principali (indicare anche più di una)  
agricola (specificare):  
zootecnica(specificare):  
 vitivinicola  olivicola  
no food (specificare):

Fig. 1. Format del questionario sulla produzione, gestione e utilizzo della paglia

Nel contempo, sarà valutato anche il grado di interesse delle singole aziende a partecipare concretamente alle fasi operative di cantiere, diventando partner esecutive nella messa a punto di processi produttivi codificati per la produzione di balle di paglia da costruzione con specifici requisiti fisico-meccanici.

## 2.2. VALUTAZIONE AMBIENTALE DI USI ALTERNATIVI DELLA PAGLIA

La valenza ambientale della paglia come materiale da costruzione è la caratteristica fondante per tale impiego. Per quanto riguarda la sostenibilità del ciclo di vita della paglia è utilizzata la metodologia LCA, ed in particolare il metodo consequenziale (*consequential LCA*), che valuta le conseguenze ambientali indirette di un uso alternativo del prodotto. La LCA analizza tutti i processi, dalla fase di raccolta in campo fino all'uscita delle balle dai cancelli aziendali (*from cradle to gate*). La metodologia LCA è utilizzata per valutare i vantaggi effettivi dell'uso della paglia rispetto ai materiali convenzionali sostituiti, ma anche per quantificare gli impatti aggiunti o sottratti come conseguenza di un suo utilizzo alternativo. Quest'attività prevede sia un raffronto rispetto ad un uso tradizionale, come l'interramento in campo o come lettiera per animali in allevamento, sia rispetto ad un uso per scopi energetici (combustibile).

## 3. POSSIBILI SCENARI DI UTILIZZAZIONE E PROGETTAZIONE

### 3.1. RISULTATI PRELIMINARI SULLE PRODUZIONI DI PAGLIA IN TOSCANA

Il questionario sulla produzione, gestione e utilizzo della paglia è stato inviato ad un numero consistente di aziende agricole toscane, fra cui 44 hanno fornito risposte dettagliate.

Quasi il 70% delle aziende intervistate produce paglia e, tra queste, la maggior parte è localizzata nelle province a più elevata vocazione cerealicola, quali Siena e Grosseto. Tra queste la coltura prevalente è il frumento (in particolare grano duro) seguito a distanza da orzo e avena. La raccolta della paglia è svolta in proprio e tramite contoterzisti in uguale

proporzione. Lo stoccaggio della paglia, quando non è trinciata direttamente in campo, avviene in rotoballe, *jumbo bales*, piccole balle prismatiche (con peso di 20-30 kg) e in un caso in sacchetti da 10 kg. Nel caso di piccole balle, potenzialmente utilizzabili per scopi costruttivi, 4 aziende su 7 effettuano la raccolta in proprio. La Figura 2 mostra le principali destinazioni della paglia prodotta: quasi la metà della produzione è interamente ceduta a terzi (41%) mentre circa il 26% è riutilizzato all'interno dell'azienda agricola; marginale è la quota non utilizzata e trinciata direttamente in campo. La paglia ceduta a terzi è, per circa i tre quarti, raccolta in balle di grandi dimensioni (cilindriche e prismatiche).

I sopralluoghi effettuati direttamente presso alcune aziende della provincia di Siena hanno evidenziato come la meccanizzazione della raccolta della paglia sia effettuata con cantieri di grandi dimensioni, al fine di massimizzare la produttività (circa 50 ha/giorno pari a 400 grandi balle prismatiche al giorno), la capacità di lavoro e la manodopera impiegata.

Dalle interviste è emerso come alcuni agricoltori siano disponibili a produrre piccole balle adatte per scopi costruttivi, utilizzando soluzioni innovative rappresentate da macchine raccogli-imbaltatrici capaci di produrre *Jumbo bales* suddivisi a loro volta in piccole balle (Fig. 3), qualora il prezzo di mercato divenga conveniente (8-9 €/q) rispetto all'incerta e poco remunerativa situazione attuale (3-4 €/q).

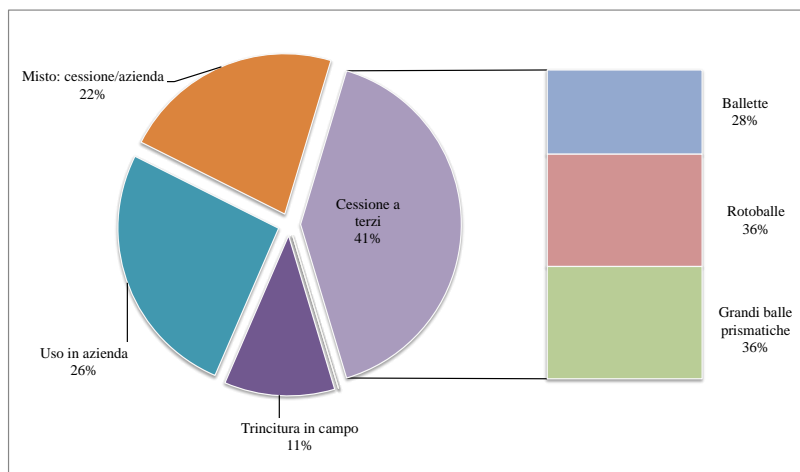


Fig. 2. Destinazione della paglia prodotta in azienda

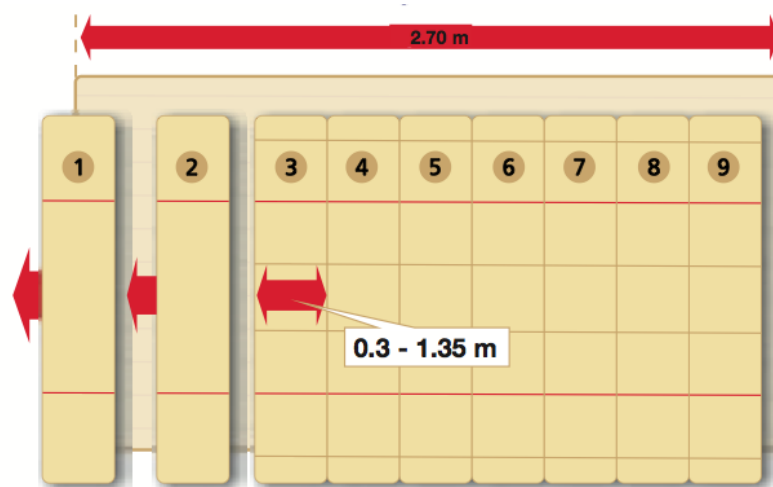


Fig. 3. Jumbo bale suddivisa in numerose piccole balle di larghezza variabile

### 3.2. VALUTAZIONI AMBIENTALI SUGLI UTILIZZI ALTERNATIVI DELLA PAGLIA

È di fondamentale importanza valutare la convenienza ambientale dell'impiego della paglia in raffronto all'uso tradizionale o per scopi energetici e al suo impiego come materiale da costruzione (Fig. 4).

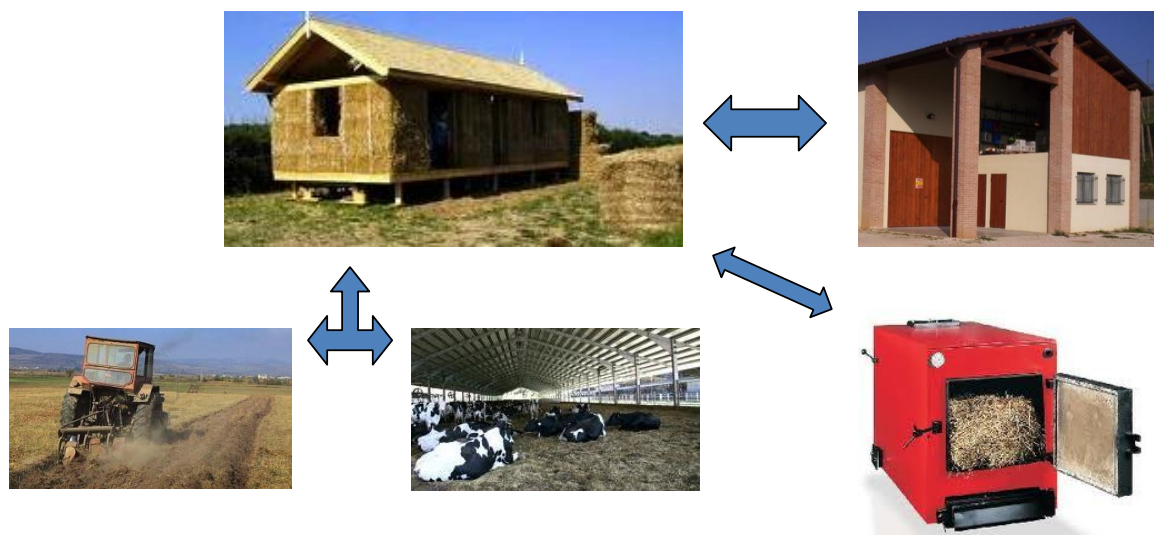


Fig. 4. Possibili scenari di utilizzo della risorsa paglia

In Toscana si producono circa 400.000 t di paglia su una superficie a cereali di 132.000 ha principalmente investiti a frumento, orzo e avena (Mipaaf, 2010).

*Scenario "Interramento in campo"*. Un importante servizio ambientale che l'agricoltura può svolgere consiste nell'assorbimento di rilevanti quantità di anidride carbonica dall'atmosfera, anche attraverso lo stoccaggio di carbonio contenuto nella paglia. Considerando un coefficiente di umificazione della paglia pari a 0,15  $k_1$  (Katterer et al., 2011) e un contenuto di sostanza secca di 85%, l'interramento di 1 q di paglia produce circa 17 kg di humus che equivalgono ad una quantità di  $CO_2$  immobilizzata nel terreno pari a 36 kg. Se interrata, la produzione di 1 ha può sequestrare fino a 1 t  $CO_2$ . Compiendo tale operazione, si deve fare attenzione però all'elevato rapporto carbonio/azoto della paglia ( $C/N = 110-130$ ), che richiede un apporto esterno di azoto ("costo occulto") al fine di non intaccare le riserve del suolo.

*Scenario "Utilizzo energetico"*. La paglia può essere utilizzata anche per scopi energetici in differenti filiere. Se la paglia è utilizzata per la produzione di etanolo (biocarburante di II<sup>a</sup> generazione) si ha una riduzione standard delle emissioni di gas a effetto serra rispetto ai combustibili fossili di riferimento che è dell'85% (Direttiva RED, 2009/28/CE). Se utilizzata come biomassa solida in processi di combustione, la paglia ha emissioni medie di filiera – dalla raccolta all'immissione in caldaia – di 2 g  $CO_2eq/MJ$ , mentre le emissioni di una fonte fossile potenzialmente sostituibile come il carbone sono pari a 217-253 g  $CO_2eq/MJ$ .

*Scenario "Sostituzione di laterizi"*. Uno scenario del tutto alternativo è quello che prevede la paglia come materiale da costruzione in sostituzione ai comuni laterizi. Ipotizzando che la produzione di paglia su scala regionale toscana sia ripartita equamente tra le diverse modalità d'impiego – interramento in campo, lettiera in allevamenti zootecnici, produzione di energia e materiale da costruzione – circa 100.000 t di paglia potrebbero essere destinate ad usi edili. Tale quantità contiene un equivalente di circa 158.000 t  $CO_2$  che può essere immobilizzata per un periodo di tempo pari alla vita attesa d'esercizio dell'edificio, che si può

estendere oltre i cento anni (i primi edifici in paglia costruiti in Nebraska risalgono al 1903 e sono tuttora efficienti). A titolo esemplificativo, la paglia utilizzata potrebbe compensare le emissioni di gas serra di 45.000 t di gasolio (3,5 kg CO<sub>2</sub>/kg gasolio), che sono pari a circa il 2‰ del fabbisogno nazionale italiano.

Nella sostituzione dei laterizi con balle di paglia, oltre al carbonio stoccato nei culmi dei cereali, si devono considerare anche i carichi ambientali evitati derivati dalla non produzione dei tradizionali materiali da costruzione sostituiti. Ipotizzando che 1 m<sup>2</sup> di muratura in laterizi sia realizzato con 134 elementi (Mattone Comune Doppio UNI 12x12x25 cm, peso 2,75 kg) e che abbia emissioni medie di produzione pari a 0,4 kg CO<sub>2</sub>/kg, i carichi ambientali da sottrarre all'impatto di un tipo di muro realizzato in paglia con le stesse caratteristiche di coibenza termica (K= 0,09 W/m<sup>2</sup>°C) sono di 147,4 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>.

### 3.3. APPLICAZIONI NEI FABBRICATI AGRICOLI

In ambito progettuale particolare attenzione dovrà essere posta alle attuali richieste di miglioramento e di sviluppo sostenibile delle attività produttive agricole, promuovendo la progettazione di strutture funzionali alle esigenze aziendali caratterizzate da elevata modularità. In tal senso, per i fabbricati agricoli d'esercizio, l'applicazione del bio-materiale da costruzione abbinato a materiali aventi funzione portante (legno, acciaio, ecc.), può rappresentare la riattivazione di una filiera completa, con la produzione della materia prima fino al suo utilizzo finale.

A tal riguardo sono tuttora in corso di studio sia lo sviluppo di sistemi costruttivi innovativi sia la proposta di interventi di riqualificazione energetica su fabbricati rurali esistenti. I criteri progettuali di funzionalità, modularità e sostenibilità ambientale ed economica saranno i principi fondativi adottati nello studio di soluzioni costruttive-pilota ad uso agricolo. Nello specifico la realizzazione di un magazzino per lo stoccaggio di prodotti di circa 150 m<sup>2</sup> avrà le seguenti caratteristiche: tipologia strutturale in pilastri in legno (interasse di 1,80 – 2,00 m) con tamponamenti in paglia nelle partizioni verticali ed orizzontali. Il solaio di copertura sarà costituito da travi in legno (interasse di 1,00 m), doppio tavolato incrociato superiore e tavolato scempio inferiore. Tra i due ordini di tavolati saranno collocate balle di paglia per l'isolamento termico e strati di terra paglia con funzione di barriere al vapore; la copertura sarà munita di camera di ventilazione. Il sistema di fondazione sarà costituito da un cordolo perimetrale in c.a., mentre per la pavimentazione interna, laddove non sia previsto l'accesso di macchine agricole, sarà scelto un vespaio isolante con finitura in terra battuta. In termini di aspetto architettonico, gli intonaci naturali a base di terra o terra e calce aerea da applicare a supporti in paglia, il manto di copertura in tegole e coppi, associati alla semplicità delle forme, rendono l'edificio collocabile in qualunque contesto rurale toscano.

Interventi-pilota di riqualificazione energetica e funzionale di un fabbricato agricolo esistente (es. cantina fuori terra), prevederanno la realizzazione di cappotti interni o preferibilmente esterni in balle di paglia o in terra-paglia, al fine di garantire elevate prestazioni termiche al fabbricato stesso. In particolare, i cappotti esterni saranno costituiti da balle di paglia contenute da montanti in legno vincolati alla muratura e successivamente rivestiti con impasti di calce aeree e/o terre, escludendo l'uso di leganti idraulici moderni, che richiedono elevati quantitativi di energia per la produzione. I cappotti interni invece saranno in terra-paglia, messi in opera con tecniche costruttive diverse, per mezzo di casseri oppure prefabbricati e semplicemente assemblati in cantiere. L'utilizzo dei sistemi sovraesposti comporta costi notevolmente inferiori rispetto ai sistemi attualmente in uso, sia per la reperibilità in situ dei materiali utilizzati sia per la facile messa in opera degli stessi.

#### 4. CONCLUSIONI

Il presente lavoro si pone l'obiettivo di contribuire alla creazione di basi tecnico-scientifiche per l'attivazione di una filiera di balle di paglia da costruzione; ciò consentirebbe alle aziende agricole di differenziare ulteriormente il proprio reddito, valorizzando un sottoprodotto della filiera cerealicola.

In quest'ottica, deve essere ancora svolto un intenso lavoro di ricerca mirato alla caratterizzazione tecnica delle attitudini delle specie cerealicole a paglia e alla definizione dei principali parametri qualitativi della balla sia in fase di raccolta sia in opera. Per quanto riguarda la sostenibilità ambientale dell'utilizzo della paglia per scopi costruttivi, analisi preliminari evidenziano come questa sia un materiale che consente una riduzione di emissioni nell'ambiente rispetto ai materiali tradizionali.

Simili considerazioni riguardano anche l'utilizzo di tecniche costruttive con materiali naturali di antica tradizione per la progettazione e il recupero di fabbricati di esercizio per le produzioni agricole; la definizione rigorosa e scientifica delle tecniche costruttive ottimali e degli opportuni accoppiamenti dei materiali consentirà di redigere disciplinari tecnico-pratici per progettisti e maestranze, promuovendo l'adozione di tali tecniche soprattutto in contesti rurali di edilizia residenziale e produttiva.

Allo stato attuale la filiera agricola per la produzione di balle di paglia da costruzione non è ancora presente sul territorio nazionale e la sua attivazione non può prescindere da una convenienza economica e quindi sociale. In attesa della creazione di un mercato stabile, è auspicabile uno scenario che preveda utilizzi differenziati della risorsa paglia.

#### Bibliografia

- ALLEN R.R. (1988). Straw recovery as affected by wheat harvest method. *Transactions of the ASAE*, 31 (6): 1656-1659.
- CHERUBINI F., ULGIATI S. (2010). Crop residues as raw materials for biorefinery systems - A LCA case study. *Applied Energy*, 87: 47-57. doi:10.1016/j.apenergy.2009.08.024.
- CONTI L., BARBARI M., SORBETTI GUERRI F. (2010). Soluzioni costruttive in balle di paglia per l'edilizia rurale. In: *Overview di Architettura del paesaggio*. AIIA - Ruralia, Imola, 4-5 marzo 2010, vol. 5, pp. 1-5. ISSN: 1125-0259.
- FINNVEDEN G., HAUSCHILD M.Z., EKVALL T., GUINEE J., HEIJUNGS R., HELLWEG S., KOEHLER A., PENNINGTON D., SUH S. (2009). Recent developments in Life Cycle Assessment. *Journal of Environmental Management*, 91: 1-21. ISSN:0301-4797.
- GABRIELLE B., GAGNAIRE N. (2008). Life-cycle assessment of straw use in bio-ethanol production: A case study based on biophysical modelling. *Biomass and Bioenergy*, 32: 431-441. ISSN: 0961-9534.
- JONES B. (2006). *Costruire con le balle di paglia: manuale pratico per la progettazione e la costruzione*, Aam Terra Nuova, Firenze. ISBN: 88-88819-07-X.
- KADAM K.L., FORREST L.H., JACOBSON W.A. (2000). Rice straw as a lignocellulosic resource: collection, processing, transportation, and environmental aspects. *Biomass and Bioenergy*, 18: 369-389. ISSN: 0961-9534.
- KATTERER T., BOLINDER M.A., ANDREN O., KIRCHMANN H., MENICHETTI L. (2011). Roots contribute more to refractory soil organic matter than above-ground crop residues, as revealed by a long-term field experiment. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 14: 184-192. ISSN: 0167-8809.

KIMMING M., SUNDBERG C., NORDBERG A., BAKY A., BERNESSESON S., NORÉN O., HANSSON P.A. (2011). Life cycle assessment of energy self-sufficiency systems based on agricultural residues for organic arable farms. *Bioresource Technology*, 102: 1425-1432. ISSN: 0960-8524.

KING B. (1997). *Buildings of earth and straw: structural design for rammed earth and straw bale architecture*, Chelsea Green Publishing Company. ISBN: 0930031701-7.

KING B. (2001). *California straw bale code*, BIETEC Symposium.

KING B. (2006). *Design of Straw Bale Buildings; The State of the Art*, Green Building Press. ISBN:978-0-9764911-1-8.

LACINSKI P., BERGERON M. (2000). *Serious straw bale: a home construction guide for all climates*, Chelsea Green Publishing Company. ISBN:1-890132-64-0.

MAGUIRE S.M., GODWIN R.J., O'DOHERTY M.J., BLACKBURN K. (2007). A dynamic weighing system for determining individual square bale weights during harvesting. *Biosystems Engineering*, 98: 138-145. ISSN: 1537-5110.

MINISTERO DELLE POLITICHE AGRICOLE ALIMENTARI E FORESTALI (2010). *Piano di Settore Cerealicolo – Parte Prima*.

MONAHAN J., POWELL J.C. (2011). An embodied carbon and energy analysis of modern methods of construction in housing: A case study using a lifecycle assessment framework. *Energy and Buildings*, 43: 179-188. ISSN: 0378-7788.

NILSSON D. (1999). SHAM - a simulation model for designing straw fuel delivery systems. Part 2: model applications. *Biomass and Bioenergy*, 16: 39-50. ISSN: 0961-9534.

SCHMIDT J.H. (2008). System delimitation in agricultural consequential LCA. Outline of methodology and illustrative case study of wheat in Denmark. *International Journal Life Cycle Assessment*, 13: 350-364. ISSN: 0948-3349.

SOKHANSANJ S., TURHOLOW A.F., STEPHEN J., STUMBORG M., FENTON J., MANI S. (2008). Analysis of five simulated straw harvest scenarios. *Canadian Biosystems Engineering*, 50: 227-235. ISSN: 1492-9058.

SORBETTI GUERRI F., CONTI L., MONTI M., PINI L., BARBARI M. (2009). *Razionalizzazione ed ingegnerizzazione dell'utilizzo di materiali naturali locali per l'impiego in costruzione ed infrastrutture in ambiente agricolo e perturbano toscano*, Atti del Convegno IX AIIA - "Ricerca e innovazione nell'ingegneria dei biosistemi agro-territoriali" - Ischia Porto, 12-16 settembre 2009. ISBN:978-88-89972-13-7

SPUGNOLI P., BALDI F., PARENTI A. (2009). An LCA model to assess the environmental improvement of new farming systems. *Journal Of Agricultural Engineering*, 4: 27-33. ISSN:1974-7071.

SPUGNOLI P., DAINELLI R., D'AVINO L., MAZZONCINI M., LAZZERI L. (2010). Energy and CO<sub>2</sub>eq analysis of the agricultural phase in the sunflower biodiesel chain. XVIIth World Congress of the International Commission of Agricultural and Biosystem Engineering (CIGR), Québec City, Canada, June 13-17, 2010. Book of abstracts, ISBN 978-2-9811062-1-6.

STEEN SWENTZELL A., STEEN B., BAINBRIDGE D., EISENBERG D. (1995). *The straw bale house*, Chelsea Green Publishing Company. ISBN: 0930031701-7.

SULTANA A., KUMAR A. (2011). Optimal configuration and combination of multiple lignocellulosic biomass feedstocks delivery to a biorefinery. *Bioresource Technology*, 102: 9947-9956. ISSN: 0960-8524.