

# **MATERIALI SOSTENIBILI E NON CONVENZIONALI PER EDILIZIA A IMPATTO ZERO**

Luisa Molari

Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica, Ambientale e dei  
Materiali – DICAM  
Università di Bologna

Porretta Terme 15 giugno 2019



# Bambù



# Diffusione



BORINDA



GUADUA ANGUSTIFOLIA



GUADUA



Distribuzione delle specie legnose di bambù nativo nel pianeta - *Vogel, Gardner. EEOB IowaStateUniversity*



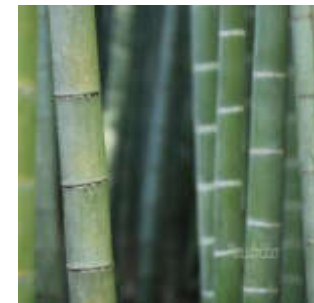
NASTUS



CEPHALOSTACHYUM



BAMBUSA VULGARIS 'VITTATA'



PHYLLOSTACHYS EDULIS



CHIMONOBAMBUSA



BAMBUSA BAMBUS

In Italia coltivato ---circa 2000 ettari

# Caratteristiche

Erba

Forma cilindrica cava con diaframmi (nodi)

Altezza culmi: 6m–25m

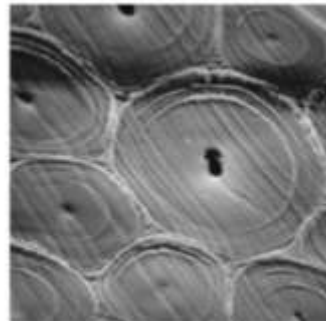
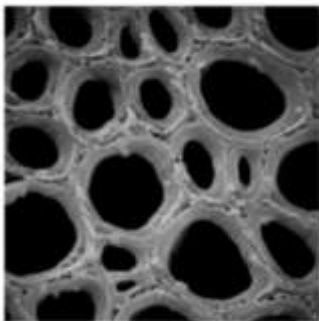
diametri 50mm–200mm

Distanza fra i nodi: 250mm–500mm

Spessore = 10% diametro esterno

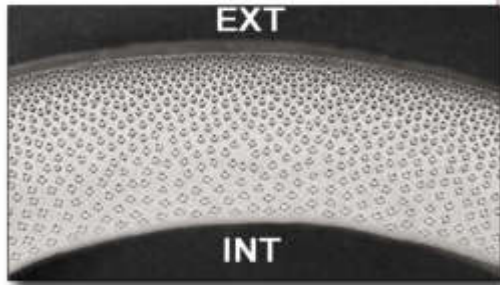
Velocità di crescita fino a 1 metro al giorno  
dimensione definitiva in due mesi

Poi fino a tre tre anni lignificano

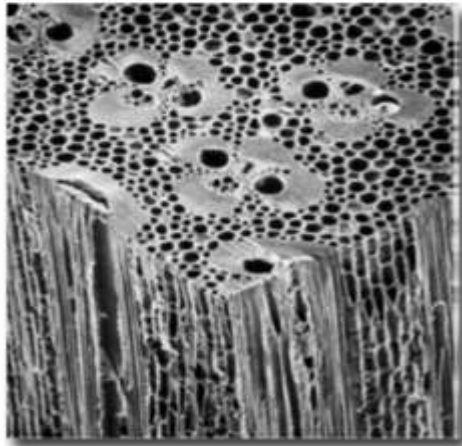


# Anatomia

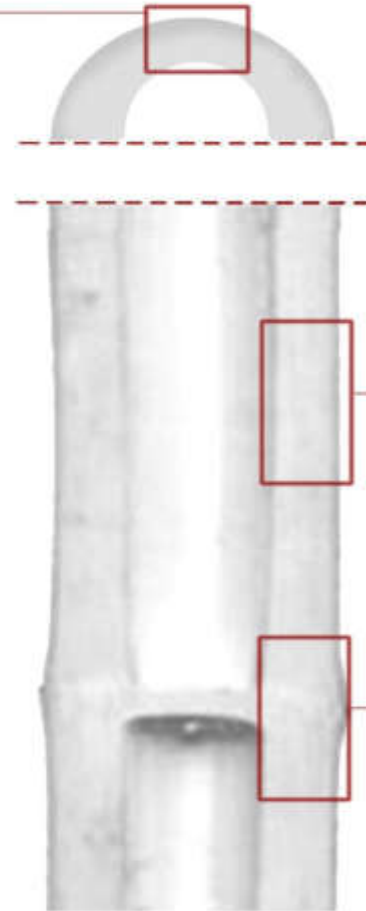
PERPENDICOLARE ALE FIBRE



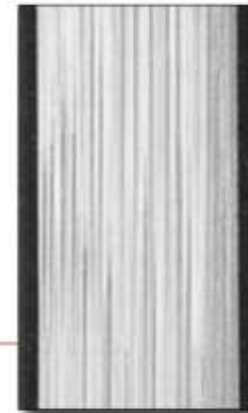
DETTAGLIO 3D  
Area Fibro-Vascolare. Parenchima



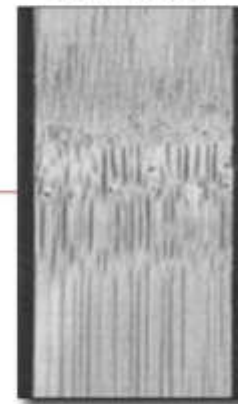
PARALLELA ALLE FIBRE



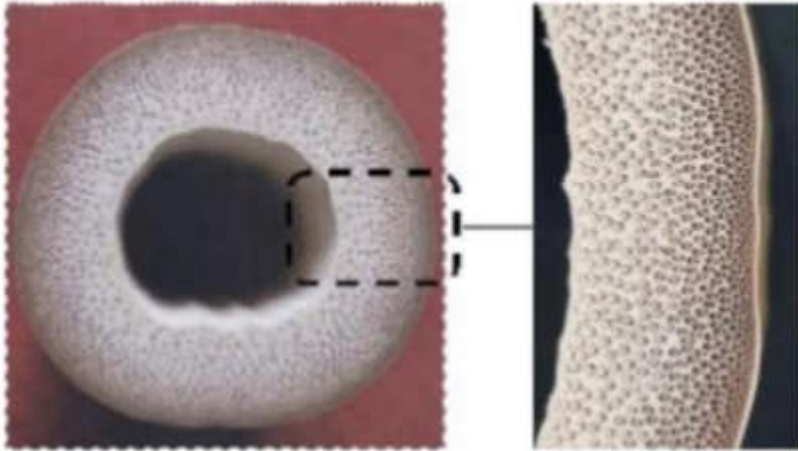
senza nodo



con nodo



- Differenze con il legno



VS



family: grass  
fibres: 1 direction  
time to grow: 3-7 years  
regeneration: grows itself back

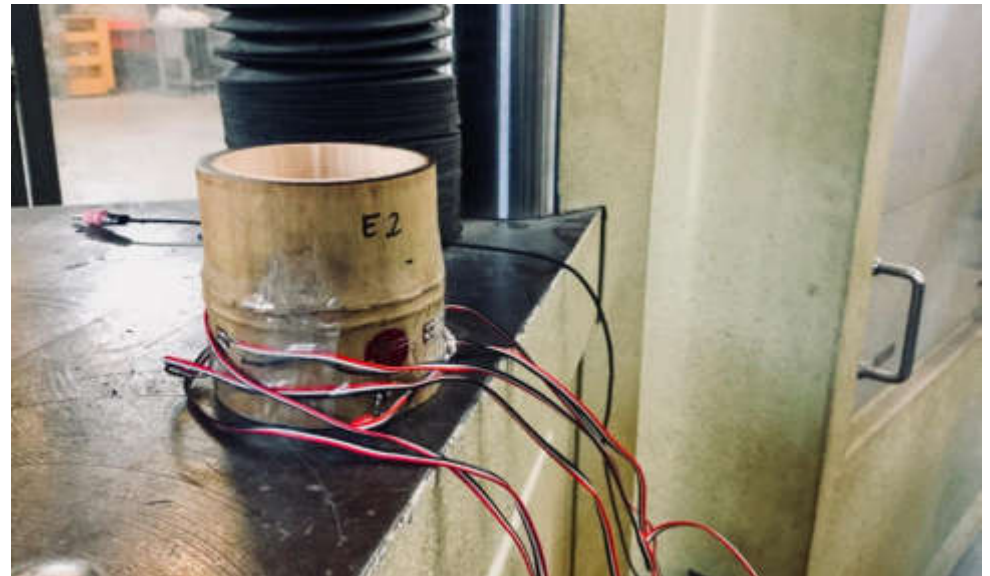
Wood (Oak)  
2 directions  
50 – 100 years  
replant

Convenzione fra DICAM (Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica, Ambientale e dei Materiali Università di Bologna), il Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Architettura (Università Politecnica delle Marche) e l'AIB (Associazione Italiana Bambù) per la caratterizzazione meccanica del bambù italiano.



ALMA MATER STUDIORUM  
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

UNIVERSITÀ  
POLITECNICA  
DELLE MARCHE





MATERIALE	$E$ [GPa]	$\alpha_r$ [MPa]		$\rho$ [g/cm <sup>3</sup> ]
<b>Diamante</b>	1.000	750		3,515
<b>Acciai</b>	190÷215	200÷2.500		7,87
<b>Ghise</b>	170÷190	100÷700		7,87
<b>Leghe di nichel</b>	177	480÷750		8,90
<b>Leghe di titanio</b>	85÷130	270÷1.450		4,51
<b>Leghe di rame (Ottoni)</b>	120÷150	240÷400		8,96
<b>Leghe di rame (Bronzi)</b>	100	300÷760		8,96
<b>Leghe di alluminio</b>	70÷80	140÷550		2,70
<b>Leghe di magnesio</b>	40÷45	150÷380		1,74
<b>Ceramici</b>	60÷70	trazione 50÷580	compressione 560÷3.500	2,4÷5,8
<b>Plastiche</b>	0,1÷6,0	10÷200		0,9÷2
<b>Elastomeri</b>	0,01÷0,1	9÷25		
<b>Resine poliuretatiche, viniliche epossidiche, fenoliche, siliconiche</b>	3,0÷5,0	25÷100		
<b>Fibre vetro, carbonio, boro, kevlar</b>	70÷400	2.300÷3.800		1,7÷2,6
<b>Composito resina e fibre   </b>	45÷320	1.100÷1.700		1,3÷2
<b>Composito resina e fibre +</b>	1,2÷11	30÷45		
<b>Legno Longitudinale   </b>	6÷16	trazione 40÷200	compressione 20÷100	0,3÷1
<b>Legno Radiale +</b>	0,5÷1	3,5÷5		

Bambù II

Phill. Virid.

18

tr 220 com 70

0.7

# Material da costruzione



Culms



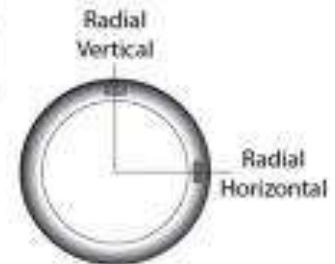
Split



Planed



Glued  
and Pressed



Strip  
Orientation

LAMINATED BAMBOO TIMBER

E' una pianta che è stata considerata in Asia e in Sud America come un materiale da costruzione per case, ponti e ponteggi da millenni.

### Casa per le popolazioni più povere



Figure 17: Engineered bahareque housing in Colombia.

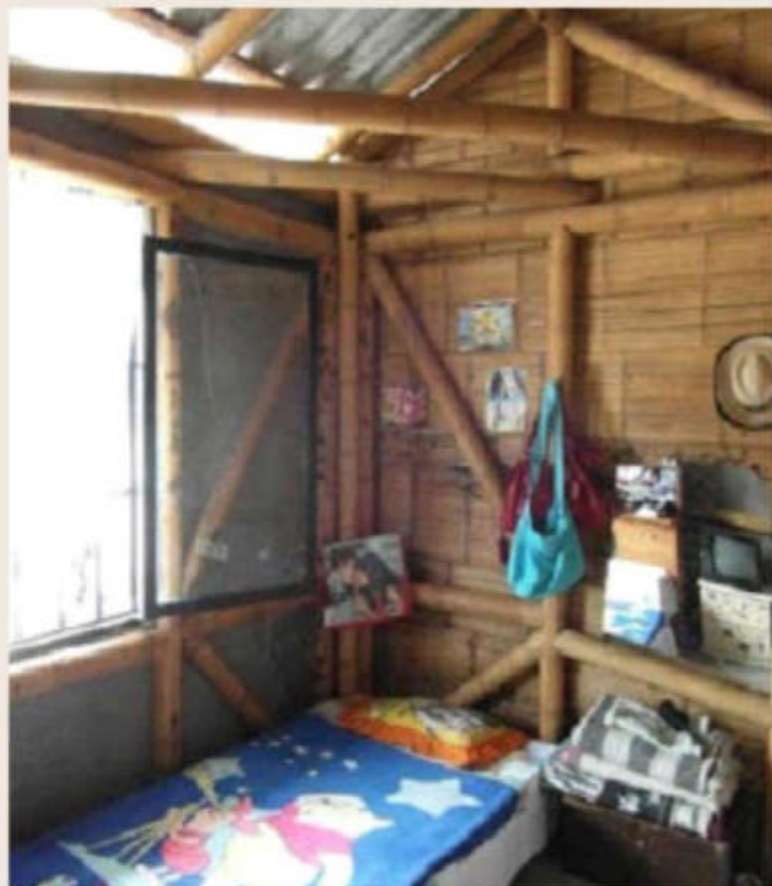


Figure 18: Engineered bahareque housing in Colombia.



Figure 15: Engineered bahareque housing in Costa Rica.



Figure 16: Engineered bahareque housing in Colombia.

INBAR report



E' diventato materiale di costruzioni usato da grandi architetti per le loro opere .  
Il primo che dato l'inizio a questo cambiamento di 'identità' è l'achitetto  
colombiano Simon Velez



GREET BAMBOO WALL/ KENGO KUMA



LOW -COST HOUSES/ VO TRONG NGHIA ARCHITECTS



GREEN VILLAGE TOUR UBUD / BALI





**BAMBOO SPORTS HALL FOR PANYADEN INTERNATIONAL SCHOOL / CHIANGMAI LIFE CONSTRUCTION**

# Quadro normativo

- AC162: Acceptance criteria for structural bamboo (USA, 2000)
- ORMA TECNICA E100 – Bambù (Perù, 2012)
- IS 68874 – Method of tests for bamboo (India)
- IS 8242 – Method of tests for split bamboos (India)
- IS 9096 – Preservation of bamboo for structural purpose, code of practice (India)
- IS 7344 – Bamboo tent poles (India)
- NTC 5300 – Cosecha y poscosecha de los culmos de Guadua Angustifolia Kunth (Colombia)
- NTC 5301 – Secado e inmunizado de los culmos de Guadua Angustifolia Kunth (Colombia)
- NTC 5405 – Propagaciòn vegetativa de Guadua Angustifolia Kunth (Colombia)
- NTC 5407 – Uniones para estructuras construidas en Guadua Angustifolia Kunth (Colombia)
- NTC 5727 – Terminologia aplicada a la Guadua y sus productos (Colombia)
- NSR-10, cap. 12 – Norma de sismoresistencia, estructuras de Guadua (Colombia)
- GPE INEN 20: 1987 – Andamiajes. Madera redonda y bambù (Ecuador)
- GPE INEN 42:1976 – Guià pràctica. Bambù caña Guadua (Ecuador)
- NTE INEN ISO/DIS 22156:2004 – Diseño estructural en Bambù (Ecuador)
- NTE INEN ISO/DIS 22157:2004 – Determinaciòn de propiedades físicas y mecànicas del Bambù (Ecuador)
- NTE INEN 002:2004 – Manual de laboratorio sobre mètodos de ensayo para la determinaciòn de propiedades físicas y mecánicas del Bambù (Ecuador)
- ASTM D5456 – Standard specifications for evaluation of structural composite lumber products (USA)
  
- ISO 22156:2004 – Bamboo, structural design
- ISO 22157-1:2004 – Bamboo, determination of physical and mechanical properties. Part 1: requirements 2018
- ISO 22157-2:2004 – Bamboo, determination of physical and mechanical properties. Part 2: laboratory manual 2018
- **ISO 19624 Bamboo structures — Grading of bamboo culms — Basic principles and procedures 2019**
- **ISO 22156 Bamboo – Structural Design**
- **ISO/NP 23478 – Bamboo structures — Glued laminated bamboo — Test methods for determination of physical and mechanical properties**



Paglia imballata  
per costruzioni

## La paglia

La paglia è la parte secca della pianta fra la radice e la spiga

Secca sul campo

Formata da cellulosa, lignina, minerali, silicati

Non è fieno

Segale, grano, orzo, riso, mais, sorgo avena

riso

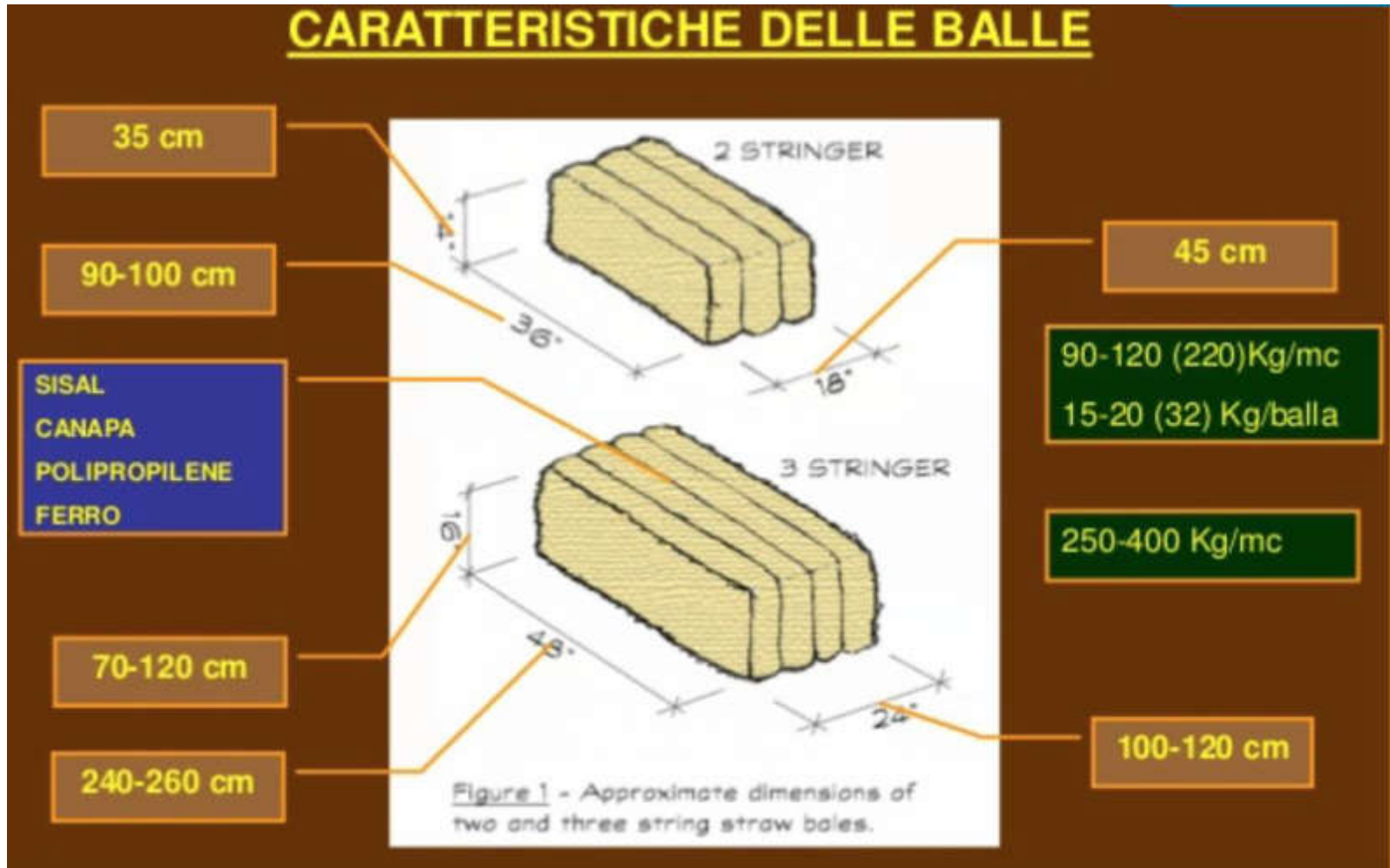


Mais



Sorgo

# Le balle di paglia



(da [www.edilpaglia.it](http://www.edilpaglia.it))

# Un po' di storia

## End of 19th century



case costruite con mattoni di  
paglia e argilla a Jericho, 8300 A.C.

Prima costruzione in balle di  
paglia: Sand Hill region, Nebraska,  
USA

*From: [www.buildpedia.com](http://www.buildpedia.com)*

## Un po' di storia

1921



Prima casa in balle di paglia in Europa  
*Maison Feuillet*, Montargis, France



*From: [www.lanarchitecture.org](http://www.lanarchitecture.org)*

# In Europa



**DIFFUSIONE  
IN EUROPA**





# In Italia dal 2004, in ascesa

2004



Prima casa in balle di paglia in Italia  
*Pramaggiore, Venezia, Italia*

Dott. Stefano Soldati



*From: [www.laboa.org](http://www.laboa.org)*

In campagna in inverno si sono  
sempre chiuse le stalle  
almeno delle parete a nord

## Vantaggi

- isolamento termico
- isolamento acustico
- traspirabilità
- Resistenza al fuoco
- Ecosostenibilità
- Durabilità
- Costi (se autocostruite)
- Buone proprietà meccaniche e di dissipazione con poca massa  
→ buona resistenza sismica
  
- Luoghi comuni →
  - allergie paglia non contiene polline
  - Roditori non entrano

## Punti critici

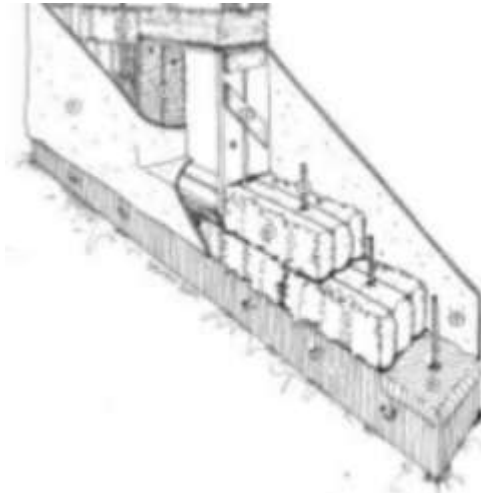
- Acqua

# Caratteristiche costruttive

## due tipologie:

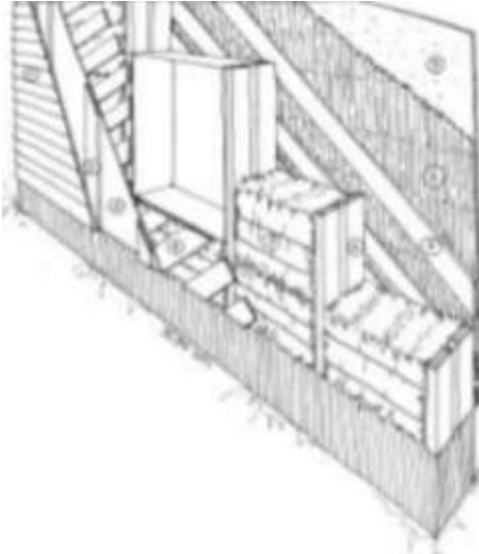
- telaio in legno (post and beam)
- strutture in paglia autoportanti
- muri sempre precompressi per stabilizzare rispetto allo sbandamento della parete
- **precompressione** con cinghie o cavi (tipo cemento armato precompresso)  
entità precompressione: **2.5 volte il carico accidentale**

# Metodo Nebraska autoportante



(da [www.edilpaglia.it](http://www.edilpaglia.it))

## Telaio strutturale in legno balle come tamponamento



## POST AND BEAM: **GREB**

## SISTEMA COSTRUTTIVO DI ORIGINE CANADESE



STRUTTURA IN LEGNO



RIEMPIMENTO IN  
PAGLIA

INTONACO IN CALCE-CEMENTO-  
SEGATURA - GETTATO

PARTICOLARMENTE ADATTO ALL'AUTOCOSTRUZIONE

## Interventi sull'esistente



Cappotti – isolamenti tetti

# Galleria



Blandum- Belgium





Reimst- Belgium palestra



Amsterdam



Agriturismo Esserhof Lana,  
Italia

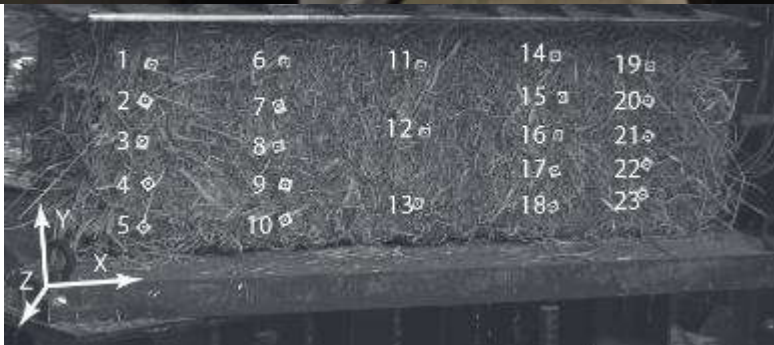
## **COMPORTAMENTO MECCANICO**

### **Campagna sperimentale sulle balle di paglia sotto carichi di compressione**

- carico statico: resistenza meccanica
- creep/rilassamento
- carico ciclico: dissipazione energia

**Modelli meccanici che possano rappresentare il comportamento meccanico delle singole balle**

# Test a Compressione



A system comprising **two stereo-mounted 5 MP F-504 digital cameras** (Stingray Digital Group, Inc., Canada), a DAQ-STD-8D synchronisation/trigger device (Isi-sys, GmbH, Germany) and a spotlight.

**Experimental tests**

# Results: Longitudinal deformation DIC



Flat bale

**Experimental tests**



**Experimental tests**



**Experimental tests**





Experimental tests



**Experimental tests**



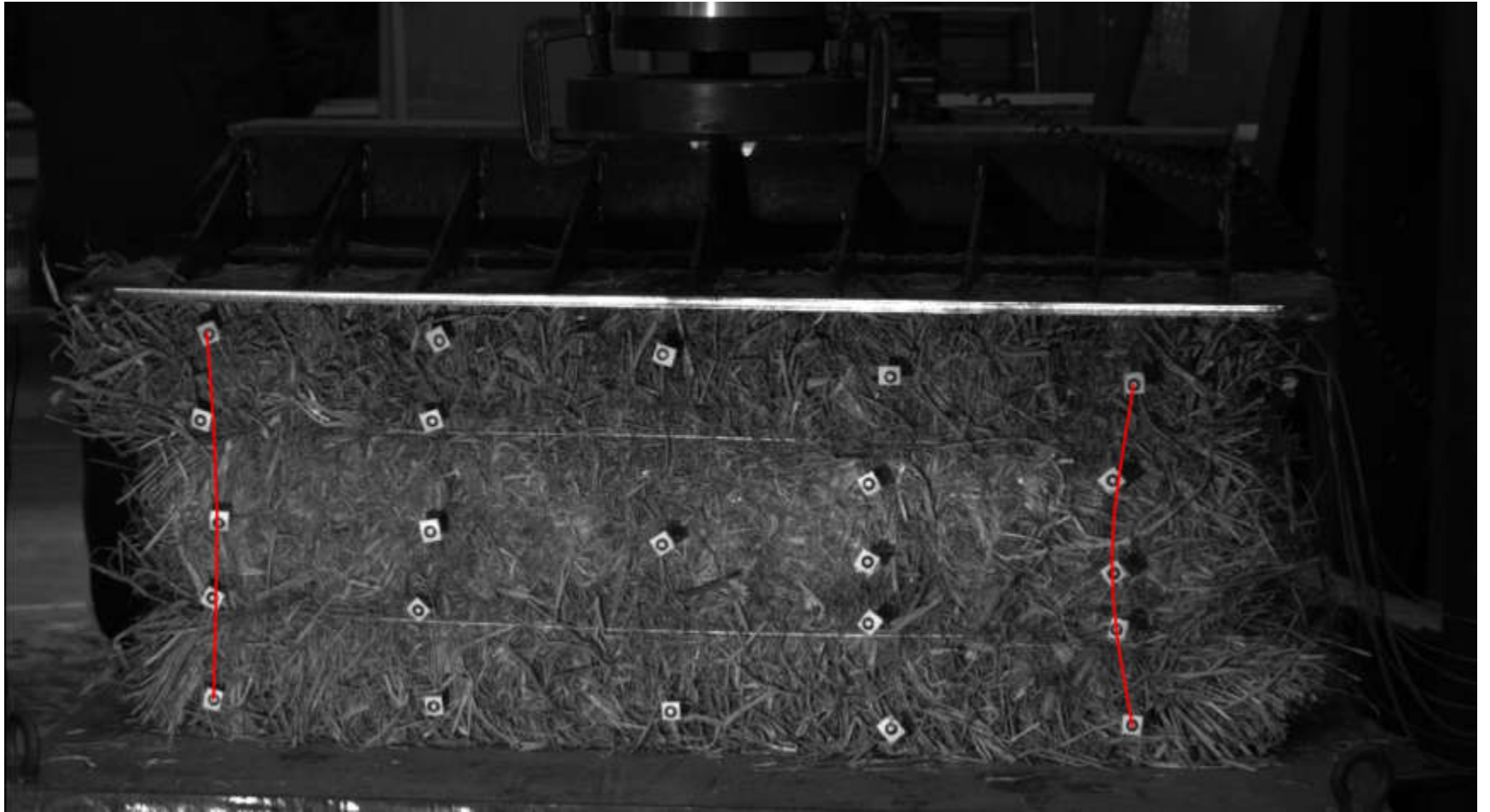
Experimental tests

# Results: Longitudinal deformation DIC

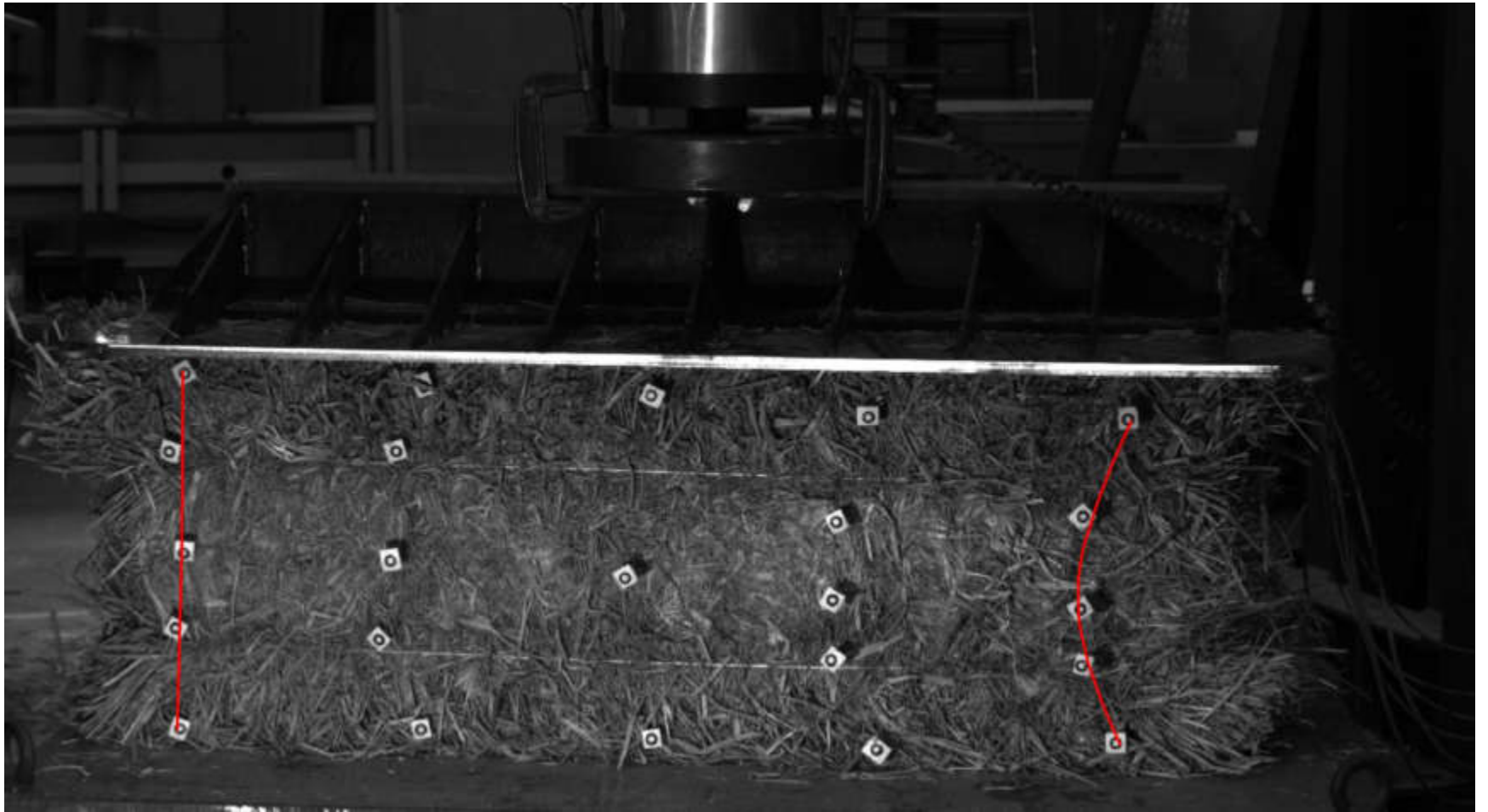


On edge

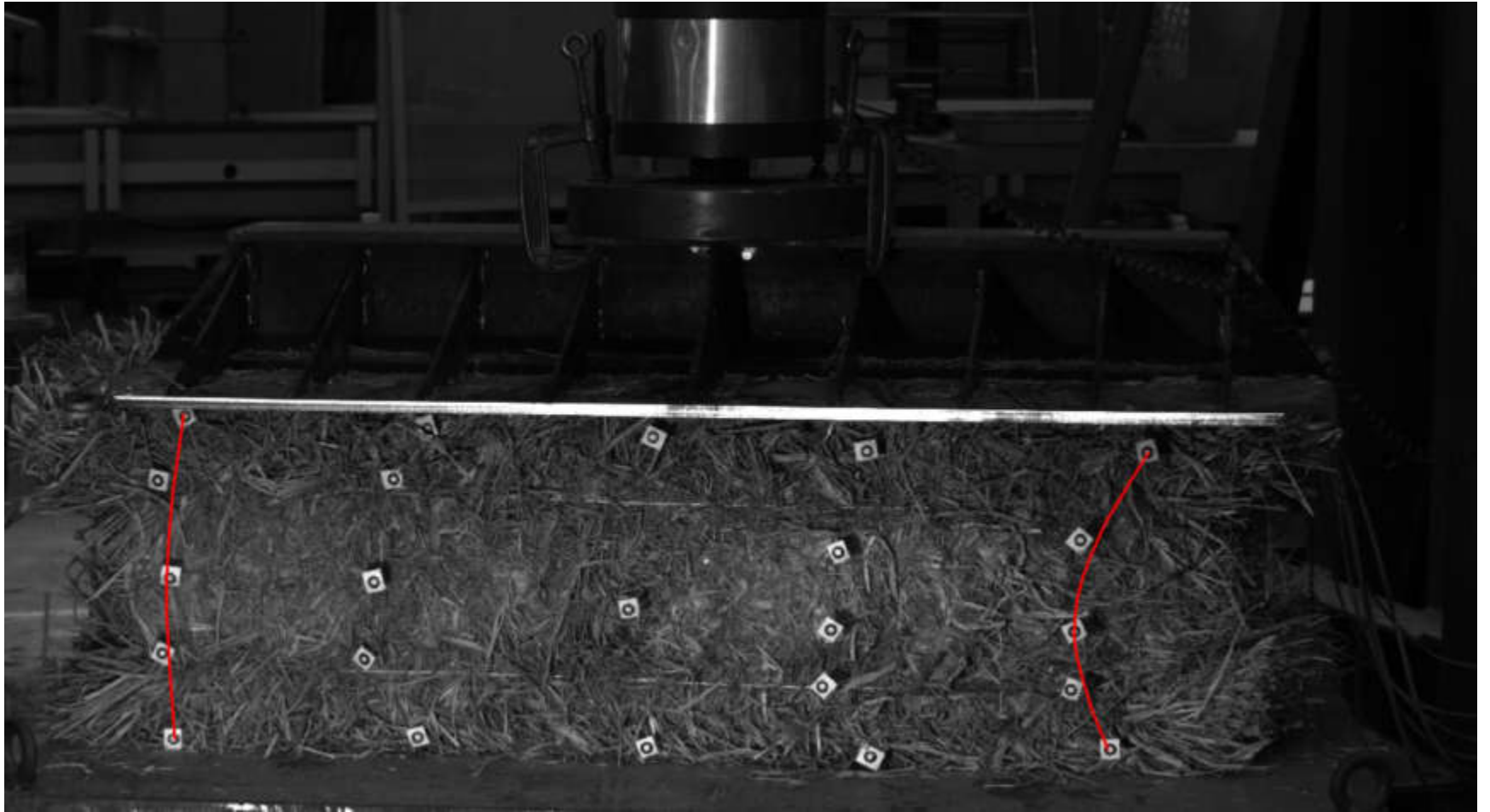
**Experimental tests**



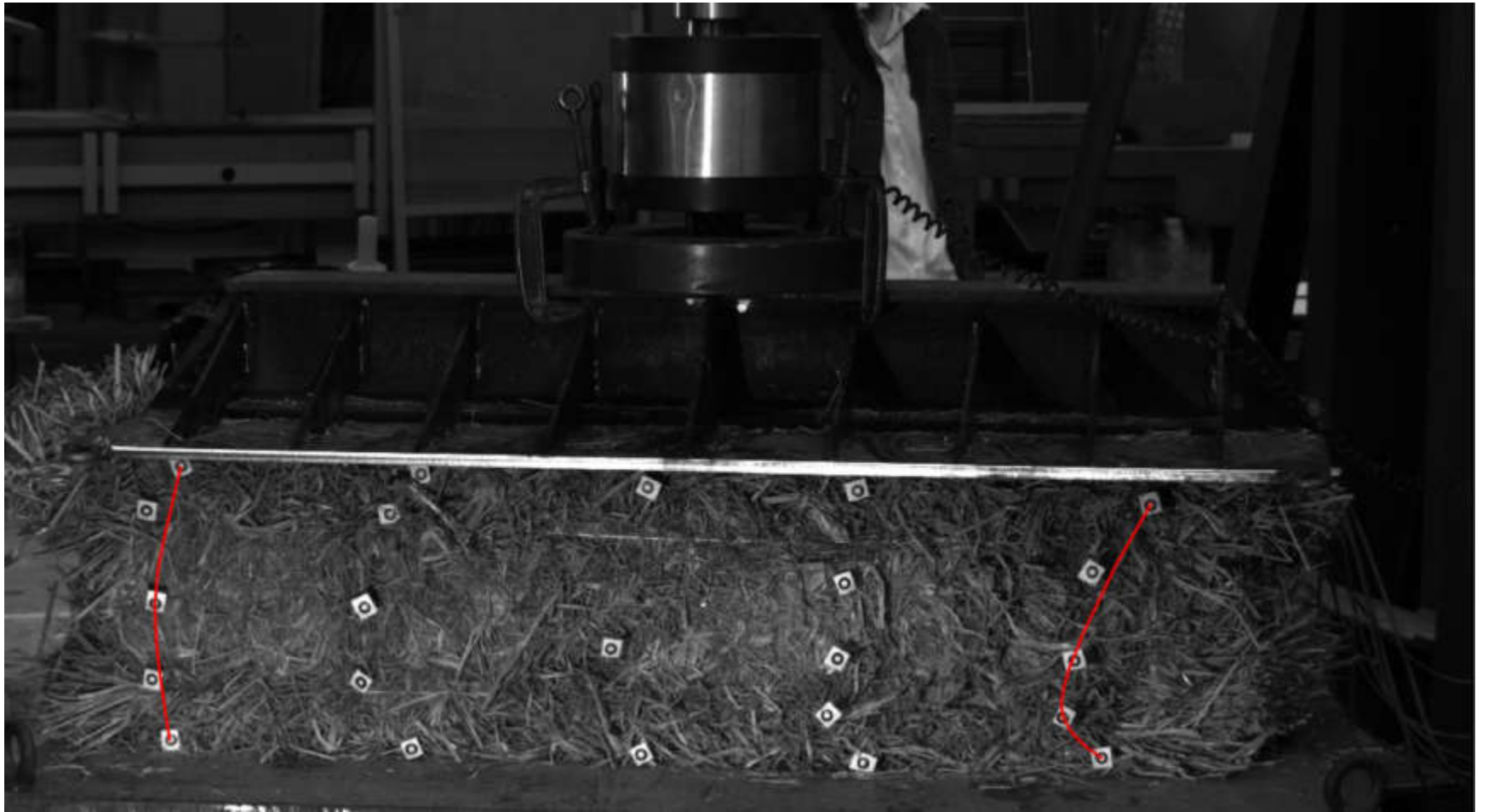
**Experimental tests**



**Experimental tests**

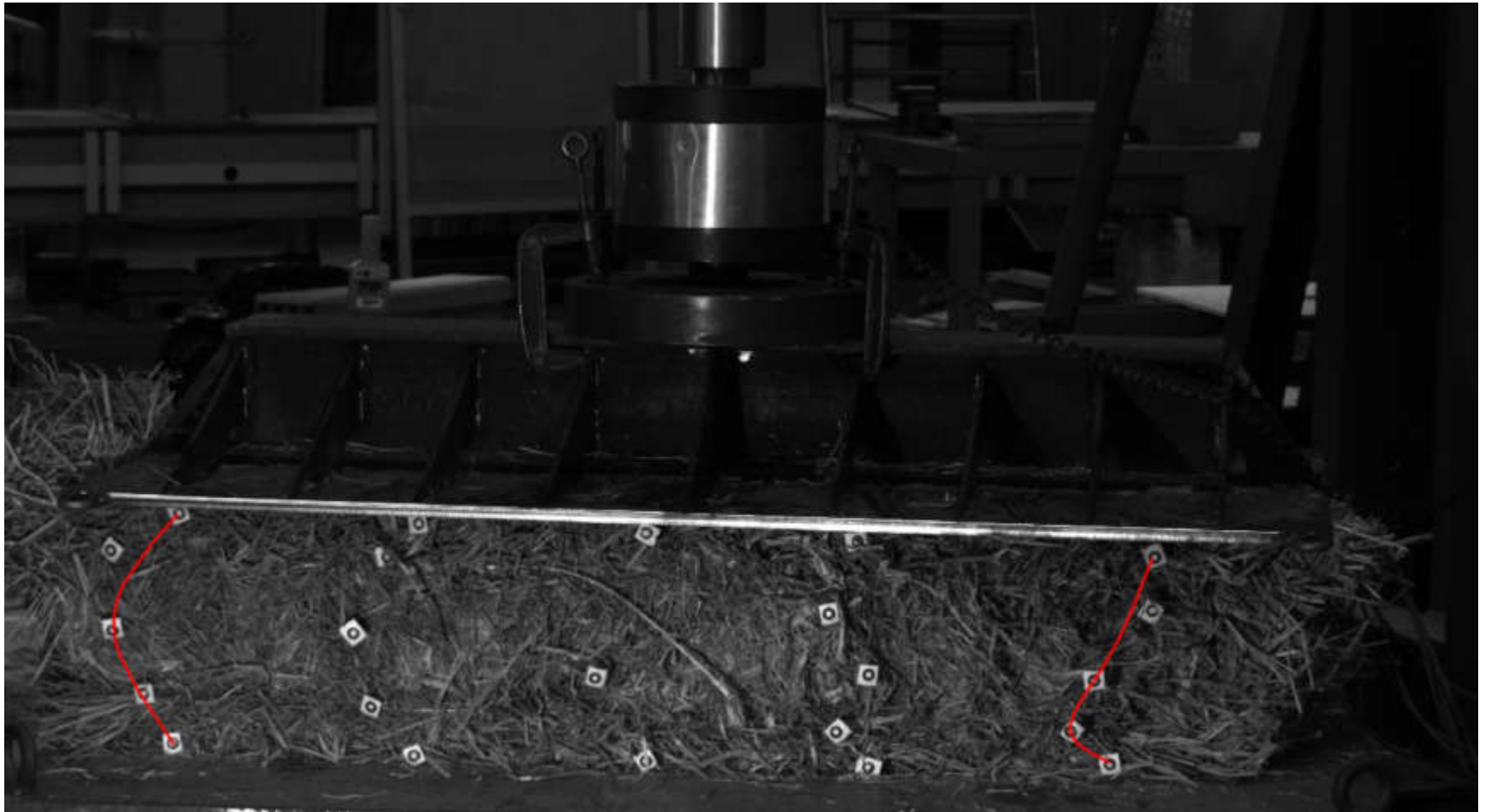


**Experimental tests**



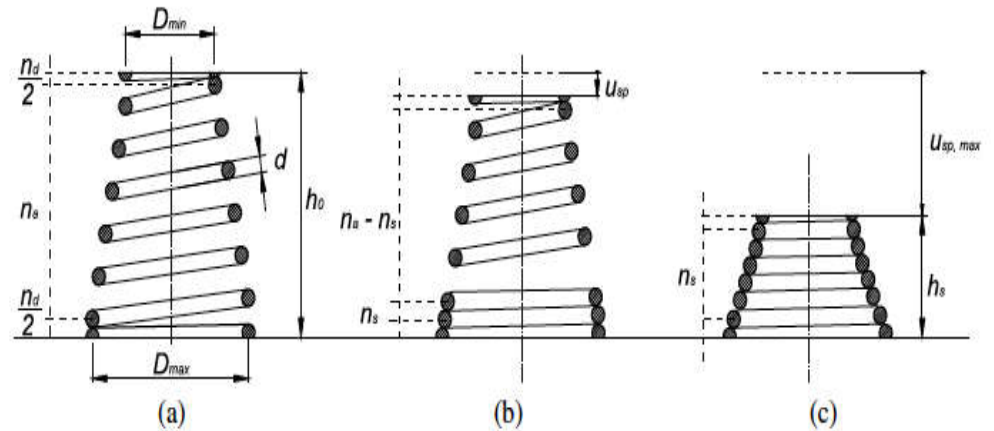
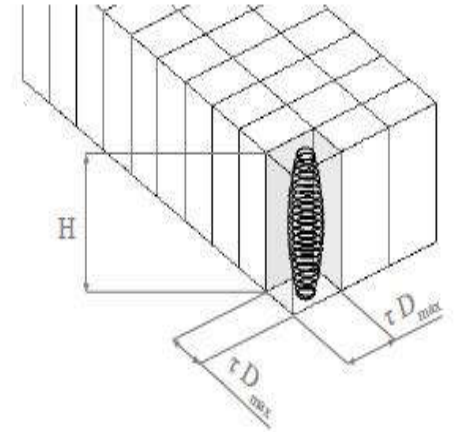
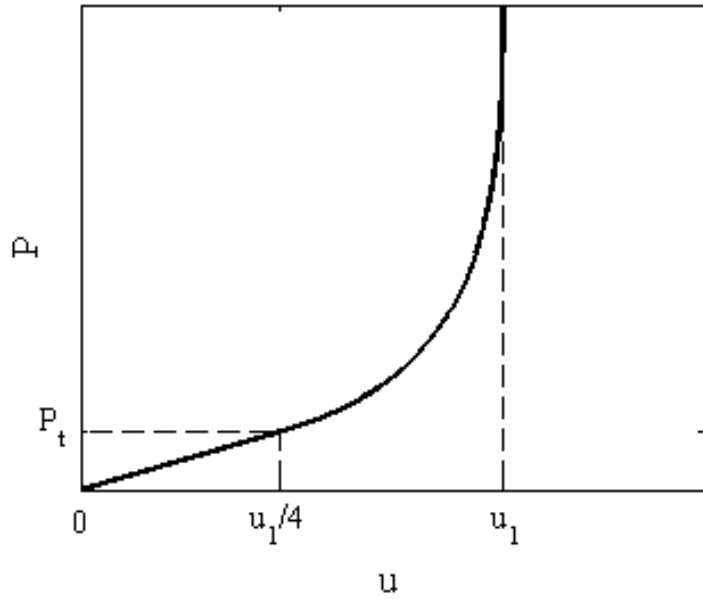
**Experimental tests**



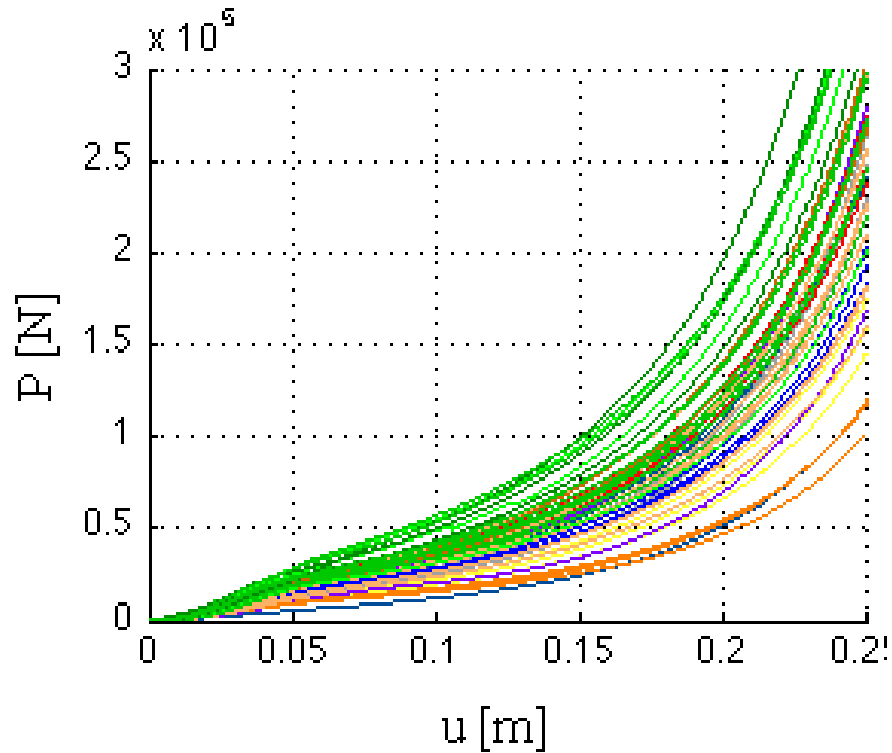


**Experimental tests**

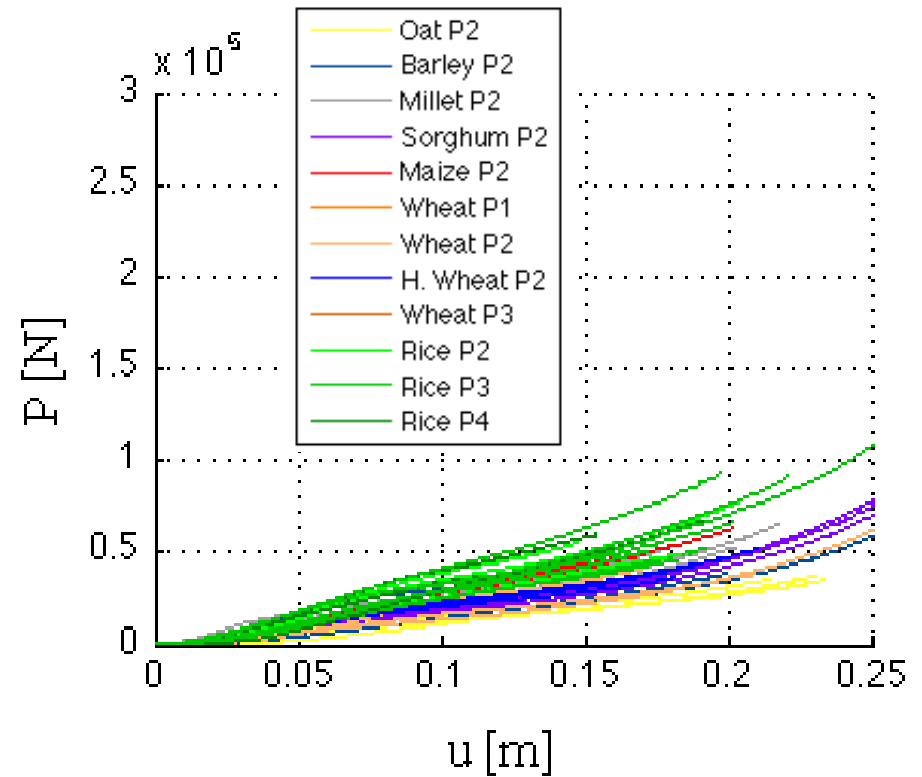
# Modello meccanico



# Resultati: curve forza spostamento

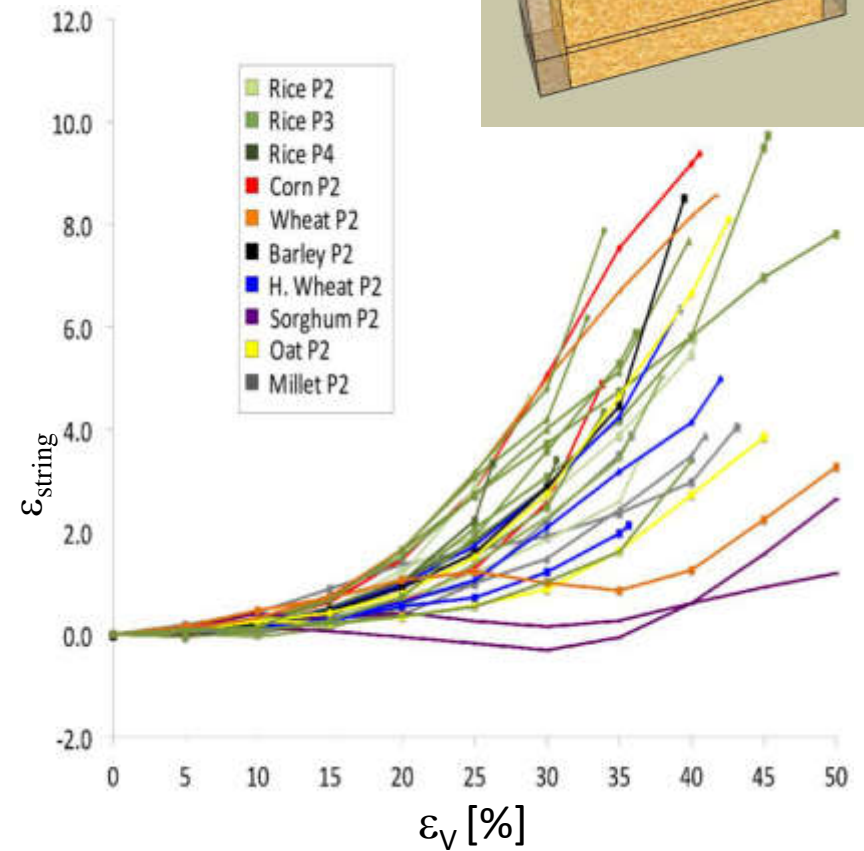
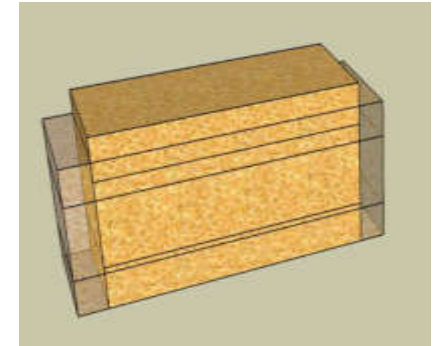
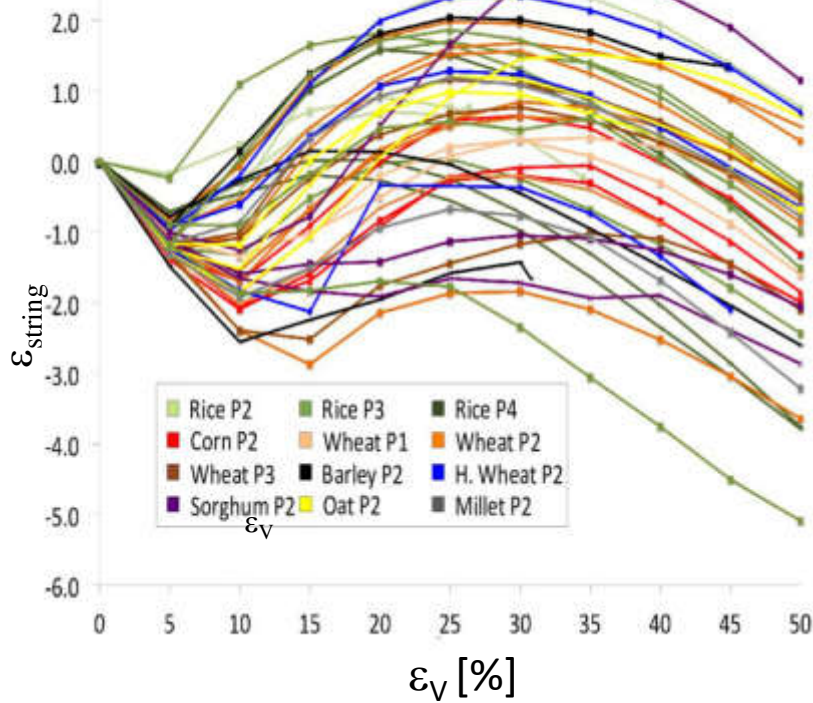
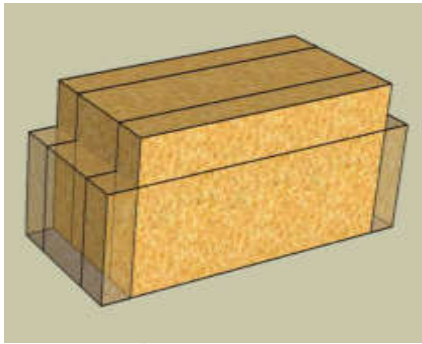


flat



on edge

# Results: Overall deformations and string deformation



Experimental tests

# Conclusioni

- Ci sono materiali naturali con caratteristiche meccaniche eccellenti, usati da sempre come materiale strutturale per edilizia che devono essere riscoperti
- Per diventare in Italia un'alternativa accessibile a tutti i professionisti è necessario conoscere questi materiali e sviluppare un apparato normativo che li supporti.

# Sito web



[www.bambustructurale.it](http://www.bambustructurale.it)

## Rivista online



# Arundo donax

