



**Politecnico  
di Torino**

Politecnico di Torino  
Corso di Laurea Magistrale in Architettura per la Sostenibilità  
A.a. 2024 – 2025  
Sessione di Laurea Luglio 2025  
Tesi magistrale

# UNA TECNOLOGIA COSTRUTTIVA DAGLI SCARTI DEL RISO

ANALISI PROGETTUALE, SPERIMENTAZIONE IN  
CANTIERE E SCENARI BIO-BASED ALTERNATIVI

Relatore:  
Prof.ssa Elena Piera Montacchini

Candidata:  
Ilaria Reviglio

Correlatori:  
Prof.ssa Silvia Tedesco  
Ph.D Jacopo Andreotti

“DOBBIAMO IMPARARE DALLA NATURA, NON SOLO  
IMITARLA, MA CAPIRE COME FUNZIONA, COME  
COSTRUISCE E COME SOSTIENE LA VITA.”

– JANINE BENYUS

# INDICE

	ABSTRACT	06		
<b>I</b>	<b>IL POTENZIALE EDILIZIO DELLA FILIERA DEL RISO</b>	<b>13</b>		
	1.1 Il riso come materia prima e sistema agricolo	14		
	1.1.1 L'impatto ambientale della risicoltura	17		
	1.2 I sottoprodotti del riso	19		
	1.3 L'azienda Ricehouse	23		
<b>II</b>	<b>IL SISTEMA RICECYCLINGWALL (RCW)</b>	<b>29</b>		
	2.1 Composizione e produzione RCW	30		
	2.1.1 La lolla di riso			
	2.1.2 Il legante naturale			
	2.2 Processo produttivo e montaggio	34		
	2.3 Prestazioni del sistema RCW	37		
<b>III</b>	<b>CASA LH, NOVARA: ANALISI DI UN CANTIERE</b>	<b>43</b>		
	3.1 Il progetto	44		
	3.2 I materiali naturali	46		
	3.3 Cronoprogramma	50		
	3.4 Fase I: Realizzazione della platea di fondazione in calcestruzzo armato	52		
	3.5 Fase II: Posa delle pareti RCW	54		
	3.6 Fase III: Getto dei pilastri	56		
	3.7 Fase IV: Realizzazione della copertura	58		
	3.8 Fase V: Esecuzione delle partizioni interne	60		
	3.9 Fase VI: Posizionamento infissi	62		
	3.10 Fase VII: Esecuzione delle finiture	64		
	3.11 Considerazioni	68		
	<b>DECARBONIZZAZIONE: CONFRONTO TRALE EMISSIONI DI GAS CLIMALTERANTI DI DUE SISTEMI COSTRUTTIVI</b>	<b>73</b>	<b>IV</b>	
	4.1 Contesto globale della decarbonizzazione	74		
	4.2 Dalla Life Cycle Assessment (LCA) alla Whole Life Carbon (WLC)	78		
	4.3 Sistemi prefabbricati: Klimasismico e RiceCyclingWall	83		
	4.3.1 Stratigrafia sistema 01 - Klimasismico	84		
	4.3.2 Stratigrafia sistema 02 - RCW	85		
	4.4 Emissioni di gas climalteranti: risultati e discussioni	86		
	<b>SCENARI FUTURI: DIFFUSIONE TERRITORIALE E ALTERNATIVE ALLA LOLLA DI RISO</b>	<b>95</b>	<b>V</b>	
	5.1 Decarbonizzazione dell'edilizia: nuove frontiere dei materiali bio-based	96		
	5.2 Oltre la lolla: la necessità di diversificare le biomasse	98		
	5.3 Tre scenari possibili: mappatura delle principali biomasse agroalimentari alternative alla lolla di riso	100		
	5.3.1 La lolla di grano	100		
	5.3.2 Potature dell'olivo	102		
	5.3.3 Bucce di arancia	105		
	5.3.4 Sintesi comparativa tra biomasse	107		
	<b>CONSIDERAZIONI FINALI</b>	<b>110</b>		
	<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>112</b>		
	Fonti istituzionali e normative	115		
	Sitografia	116		
	Dataset	117		
	<i>Ringraziamenti</i>	118		

## ITA ABSTRACT

In un contesto globale sempre più segnato dalla crisi climatica, il tema della decarbonizzazione è oggi centrale per il settore edile. La riduzione delle emissioni di gas climalteranti e la transizione verso un modello economico più rispettoso degli ecosistemi rappresentano argomenti centrali all'interno delle agende politiche internazionali. Per decenni gli sforzi per ridurre l'impatto ambientale del settore edile si sono concentrati principalmente sull'efficienza energetica durante la vita degli edifici, trascurando il peso crescente delle emissioni incorporate nei materiali e nei processi costruttivi. In questo scenario, la decarbonizzazione dell'edilizia necessita un'evoluzione nell'uso dei materiali, sostituendo i materiali convenzionali con materiali biogenici.

Questa tesi intende esplorare le potenzialità dei sottoprodotti agricoli come nuove risorse per un'edilizia a minor impatto ambientale, poiché si tratta di materiali disponibili in grandi quantità, a basso costo, riciclabili e caratterizzati da un elevato contenuto di carbonio biogenico. In particolare, il lavoro si concentra sui sottoprodotti della filiera del riso, una biomassa presente in tutti e cinque i continenti. In Italia, la produzione risicola copre più del 40% del totale europeo, concentrandosi prevalentemente nelle aree pianeggianti del Nord, con un baricentro geografico ben definito nella Pianura Padana, in particolare, tra Lombardia e Piemonte, costituendo il limite settentrionale della coltura del riso in Europa.

La tesi fornisce una panoramica iniziale sul ciclo agricolo del riso, evidenziando i principali sottoprodotti e le loro potenzialità di utilizzo. A seguire, viene fornita una breve analisi dell'attività dell'azienda Ricehouse, realtà che ha saputo valorizzare la filiera risicola in chiave edilizia, secondo una logica di economia circolare, sviluppando e commercializzando materiali da costruzione ottenuti dalla lolla, dalla paglia e dalla pula di riso, trasformati in componenti edilizi.

La parte centrale del lavoro si concentra sul sistema prefabbricato RiceCyclingWall (RCW), una parete di tamponamento innovativa sviluppata grazie alla collaborazione tra più aziende, tra cui Ricehouse e Sarotto Group. Composta da materiali di origine naturale e progettata secondo criteri di basso impatto ambientale, viene realizzata con una miscela a base di lolla di riso e cemento naturale Prompt, concepita per integrarsi con strutture portanti in calcestruzzo armato. La tesi ne descrive la composizione, il processo produttivo e le prestazioni tecniche, approfondendone l'applicazione concreta attraverso l'analisi diretta del cantiere "Casa LH", situato in provincia di Novara.

L'esperienza di cantiere viene integrata con un'analisi semplificata di

Life Cycle Assessment (LCA), limitata ai moduli A1-A3 e alla sola categoria di impatto del Global Warming Potential (GWP). L'analisi, di tipo comparativo, confronta due sistemi prefabbricati di tamponamento verticale: il sistema RiceCyclingWall (RCW), una soluzione a base di scarti della filiera risicola, e il sistema Klimasismico, suo precursore basato su materiali convenzionali.

A partire dai risultati ottenuti dall'analisi ambientale dei due sistemi, il lavoro si apre alla possibilità di diversificare le biomasse utilizzate in edilizia, per favorire una diffusione territoriale più ampia e adattabile, superando il limite geografico della filiera risicola. Vengono quindi esaminati tre materiali alternativi alla lolla di riso: la lolla di grano, le potature dell'olivo e le bucce di arancia.

Il lavoro qui presentato intende offrire un contributo alla transizione ecologica dell'edilizia, con l'obiettivo di ipotizzare materiali bio-based alternativi, da sperimentare per una possibile integrazione all'interno di sistemi prefabbricati innovativi.

## ENG ABSTRACT

In a global context increasingly marked by the climate crisis, the issue of decarbonization has become central to the construction sector. The reduction of greenhouse gas emissions and the transition towards an economic model that is more respectful of ecosystems are key topics on international political agendas. For decades, efforts to reduce the environmental impact of the building sector have focused primarily on energy efficiency during the operational phase of buildings, neglecting the growing burden of embodied emissions in materials and construction processes. In this scenario, the decarbonization of construction requires an evolution in material use, replacing conventional materials with biogenic ones.

This thesis aims to explore the potential of agricultural by-products as new resources for more environmentally friendly construction, as they are materials available in large quantities, low-cost, recyclable, and characterized by a high biogenic carbon content. In particular, the work focuses on by-products from the rice supply chain, a biomass present on all five continents. In Italy, rice production accounts for over 40% of the European total, mainly concentrated in the lowland areas of the North, with a well-defined geographic center in the Po Valley, particularly between Lombardia and Piemonte, marking the northern limit of rice cultivation in Europe.

The thesis begins with an overview of the rice agricultural cycle, highlighting the main by-products and their potential applications. This is followed by a brief analysis of the activities of the company Ricehouse, a firm that has recognized the potential of the rice supply chain in the construction sector, adopting a circular economy approach by developing and commercializing building materials derived from rice husk, straw, and bran, transforming them into construction components.

The central part of the work focuses on the RiceCyclingWall (RCW) prefabricated system, an innovative infill wall developed through the collaboration of several companies, including Ricehouse and Sarotto Group. Made from natural origin materials and designed with low environmental impact criteria, the wall is produced using a mix based on rice husk and Prompt natural cement, and is conceived to integrate with reinforced concrete load-bearing structures. The thesis describes its composition, production process, and technical performance, delving into its real-world application through the direct analysis of the "Casa LH" construction site, located in the province of Novara.

The construction site experience is complemented by a simplified Life Cycle Assessment (LCA), limited to modules A1-A3 and to the Global

Warming Potential (GWP) impact category. The comparative analysis examines two prefabricated vertical infill systems: the RiceCyclingWall (RCW), a solution based on rice supply chain waste, and the Klimasismico system, its predecessor made with conventional materials. Based on the results of the environmental analysis of the two systems, the work opens up the possibility of diversifying the biomass used in construction, to promote a wider and more adaptable territorial spread, overcoming the geographical limitation of the rice supply chain. Three alternative materials to rice husk are therefore examined: wheat husk, olive pruning residues, and orange peels.

This work aims to contribute to the ecological transition of the construction sector, with the objective of hypothesizing alternative bio-based materials to be tested for potential integration within innovative prefabricated systems.

# I CAPITOLO

IL POTENZIALE EDI-  
LIZIO DELLA FILIERA  
DEL RISO



Figura 2.01 - Dettaglio  
infixo parete prefabbricata  
RiceCyclingWall (RCW)  
(Fonte: Credits Rice House srl)

## IL POTENZIALE EDILIZIO DELLA FILIERA DEL RISO

/1

Il presente capitolo introduce la filiera del riso vista non solo come alimento, ma come materia prima per altri settori. A partire da una panoramica globale sulla coltivazione del riso, uno dei cereali più coltivati al mondo, viene approfondito il contesto italiano. Si analizza il ciclo colturale e produttivo, dalla semina alla pilatura, mostrando l'impatto ambientale della risicoltura, legato all'uso delle risorse idriche e alla vulnerabilità agli stress chimici. A seguire vengono analizzati i sottoprodotti del riso, in particolare la lolla, la paglia e la pula, evidenziando il loro potenziale come materie prime seconde. Infine, viene presentata l'azienda Ricehouse, una start-up italiana che ha fatto della bioedilizia circolare la propria missione, impiegando i sottoprodotti del riso per sviluppare materiali naturali destinati all'edilizia.

L'analisi di questa azienda risulta utile in quanto, nel capitolo successivo, verrà analizzato il sistema prefabbricato RiceCyclingWall (RCW), sviluppato da Ricehouse in collaborazione con altre imprese, tra cui il Sarotto Group.

## 1.1 / IL RISO COME MATERIA PRIMA E SISTEMA AGRICOLO

Il riso è diventato uno dei cereali più importanti e più coltivati, specialmente nei Paesi in via di sviluppo, diventano un alimento quotidiano per più della metà della popolazione mondiale. Grazie alla sua lunga storia di coltivazione e alle numerose varietà che si sono ottenute, il riso ha acquisito un'elevata adattabilità e tolleranza, così da poter essere coltivato in differenti habitat, dai terreni profondi e ricchi d'acqua fino ai pendii di colline aride.<sup>1</sup>

Il riso copre da solo circa il 20% del fabbisogno energetico alimentare a livello globale. Proprio per sottolinearne la sua importanza, nel 2004 le Nazioni Unite hanno proclamato l'Anno Internazionale del Riso con il motto "Rice is Life", ovvero "Il riso è vita", il cui obiettivo era promuovere la consapevolezza del ruolo vitale di questo cereale.<sup>2</sup>

In Europa, l'Italia rappresenta il principale produttore di riso, pur non avendo lo stesso legame culturale con questo cereale che si riscontra in altri Paesi. La sua diffusione sul territorio italiano si ebbe intorno al XVI secolo, in particolare nella Pianura Padana, un'area caratterizzata da condizioni ideali con un suolo pianeggiante e impermeabile, ricca di una rete idrografica.<sup>3</sup> La coltivazione di questo cereale nelle pianure umide, modellate da fiumi, è dovuta sia all'abbondanza di acqua fornita dall'idrografia naturale e artificiale, sia per la presenza di suoli compatti tipici delle zone alluvionali.<sup>4</sup>

Questi fattori hanno favorito lo sviluppo di un distretto risicolo che si estende principalmente tra la Lombardia e il Piemonte. Il territorio può essere delimitato in modo più ristretto, includendo solo le province storicamente predisposte alla risicoltura, come Vercelli, Novara e Pavia, oppure in maniera più ampia, comprendendo anche aree limitrofe con una minore specializzazione ma comunque con ampie superfici coltivate a riso, come Alessandria, Lodi, Biella e Milano.<sup>5</sup> Secondo i dati

1. R. Bernardi & P. Marazzini, Riso ieri. Riso oggi. Innovazione nella tradizione, Geotema, 19, 2003, p. 38.

2. P. Molinari, Diffusione della produzione e del consumo del riso in Italia, Geotema, 19, 2003, p. 29.

3. M. L. Ronco, Il riso e la sua lavorazione. Dall'economia artigiana all'economia industriale, Geotema, 19, 2003, p. 46.

4. P. Molinari, op. cit., p. 31.

5. C. Brusa, et al., Il riso: produzione, lavorazione, tradizioni e sviluppo locale. Il Piemonte Orientale in rapporto al vasto mondo. Prospettive di ricerca a seguito dell'Anno Internazionale del Riso 2004. GEOTEMA, 24, 2004, pp. 89.

ISTAT del 2023, le superfici coltivate a riso risultavano pari a: 71.136 ettari a Vercelli, 69.869 ettari a Pavia e 30.974 ettari a Novara.

La coltivazione del riso avviene principalmente su suoli a tessitura fine con un contenuto di argilla variabile tra l'8% e il 55%. Questi terreni, definiti argillosi o argilloso-limosi, presentano una bassa permeabilità, caratteristica che consente di ridurre le perdite idriche attraverso il terreno. La preparazione del letto di semina rappresenta uno degli aspetti più importanti in grado di condizionare la riuscita della coltura. Essa avviene tra l'autunno e la primavera attraverso l'aratura del terreno con una profondità di circa 20 cm, seguita da una livellazione di precisione del suolo. A seguire vi è la semina, questa si svolge generalmente tra metà aprile e fine maggio,<sup>6</sup> e può avvenire secondo due modalità: in sommersione o in asciutta. Nel primo caso, la risaia viene sommersa dall'acqua per circa 5 cm, e in un secondo momento vengono inseriti i semi di riso nel terreno. Nel secondo caso invece avviene l'opposto, prima viene seminata la risaia e in un secondo momento viene sommersa dall'acqua.<sup>7</sup>

Durante le prime fasi vegetative, la coltura richiede irrigazione per sommersione in modo tale da proteggere le piante appena nate dalle temperature troppo basse e per un corretto alternarsi del ciclo vegetativo. Il sistema di irrigazione più utilizzato è la sommersione a camere intercomunicanti, con livelli d'acqua tra i 5 e i 15 cm, svolto da maggio fino a fine luglio.<sup>8</sup> L'acqua viene poi definitivamente drenata ad agosto per consentire la raccolta del riso nei mesi di settembre e ottobre, mediante la mietitura e la trebbiatura.<sup>9</sup> Dopo il raccolto i chicchi di riso ottenuti si trovano allo stato grezzo, chiamato "risone", e non sono ancora pronti per essere commercializzati, sono necessari dei processi di lavorazione noti come "pilatura", ossia dei passaggi che trasformano il risone nel prodotto confezionato reperibile sul mercato.<sup>10</sup>

Quando il prodotto entra in riseria viene mondato dalle impurità, decorticato e raffinato. A seguire viene inserito in macchinari che separano i grani standard da quelli spezzati, immaturi o deformi.<sup>11</sup>

6. A. Ferrero, Opportunità e limiti nella produzione del riso in Europa, GEOTEMA, 19, 2003, p. 18.

7. Come si coltiva il riso: tecniche e metodi per la coltivazione del riso, Post Almaverde bio, 23 settembre 2021, post.almaverdebio.it (ultimo consulto 17/06/2025)

8. P. Molinari, op. cit., p. 30.

9. A. Ferrero, op. cit., p. 18.

10. Come si coltiva il riso: tecniche e metodi per la coltivazione del riso, Post Almaverde bio, 23 settembre 2021, post.almaverdebio.it (ultimo consulto 17/06/2025)

11. P. Molinari, op. cit., pp. 31-35.

Il primo processo di lavorazione è la sbramatura nel quale le glumelle, ovvero piccole lamelle vegetali che tengono il chicco di riso attaccato alla spiga, vengono rimosse dal risone. A seguire vi è la sbiancatura dove viene rimossa la pellicola che riveste il chicco di riso, chiamata "pericarpo", tramite lo sfregamento. Questo processo lascia un sottile strato farinoso sopra il chicco di riso che viene successivamente rimosso con la spazzolatura, effettuata tramite appositi macchinari spazzolatori. La fase di lucidatura, nota anche come oliatura, permette di ottenere chicchi di riso levigati e privi di imperfezioni, più gradevoli alla vista. La brillatura invece, non prevista nella lavorazione del riso biologico, consiste infine nell'applicazione temporanea di uno strato di talco e glucosio per ottenere un chicco perfettamente bianco e lucido. Questi procedimenti permettono quindi di ottenere una varietà di risi differenti a seconda della raffinatura. Le tipologie di riso che si possono ottenere sono:

- Riso integrale
- Riso bianco
- Riso semigreggio
- Riso venere
- Riso rosso
- Riso parboiled <sup>12</sup>

Questa varietà di lavorazioni risponde non solo a esigenze alimentari differenti, ma anche a richieste di mercato sempre più segmentate, dove le qualità nutrizionali e le caratteristiche estetiche del chicco assumono un ruolo centrale.

Le varietà italiane si distinguono inoltre per la lunghezza del chicco, vi sono quattro tipologie differenti che si distribuiscono in modo non uniforme sul territorio italiano. Secondo i dati del 2024:

- Risi tondi ( $\leq 5,2$  mm): 59.228 ha (26,2% superficie a riso italiana)
- Risi medi ( $> 5,2$  mm e  $\leq 6,0$  mm): 14.313 ha (6,3%)
- Risi lunghi A ( $> 6,0$  mm): 107.909 ha (47,7%)
- Risi lunghi B ( $> 6,0$  mm): 44.678 ha (19,8%)<sup>13</sup>

Nel 2023 la superficie coltivata a riso si era attestata a circa 210.200 ettari, segnando un calo del 3,7% rispetto al 2022, attribuita a condizioni climatiche sfavorevoli e a problematiche legate alla disponibilità idrica, che negli ultimi anni hanno condizionato fortemente la scelta delle colture nella Pianura Padana. Tuttavia, nel 2024 si è registrata

12. Come si coltiva il riso: tecniche e metodi per la coltivazione del riso, Post Almaverde bio, 23 settembre 2021, [post.almaverdebio.it](http://post.almaverdebio.it) (ultimo consulto 17/06/2025)

13. E. Bozio, Le varietà italiane, Riso italiano, 30 ottobre 2024, [www.risoitaliano.eu](http://www.risoitaliano.eu) (ultimo consulto 17/06/2025)

un'inversione di tendenza: la superficie è aumentata a 226.129 ettari (+7,6%), con un incremento delle varietà medie (+69%), tonde (+12%) e lunghe A (+8%), e una riduzione delle lunghe B (-9%).<sup>14</sup>

## L'IMPATTO AMBIENTALE DELLA RISICOLTURA / 1.1.1

Tra gli slogan che accompagnano l'Anno Internazionale del Riso vi è anche "Beyond the rice", oltre il riso, il quale intende andare oltre la dimensione alimentare del cereale, per evidenziare gli aspetti ambientali, economici e culturali legati alla sua produzione. Il riso, infatti, non è solo una coltura, ma rappresenta un sistema agricolo complesso, in grado di modellare i territori, influenzare le economie rurali e conservare patrimoni storici e paesaggistici.

Le aree risicole, come quelle della Pianura Padana, sembrano immobili e immutabili nella loro dimensione monocolturale ma celano un incessante lavoro di ingegneria della risaia e una complessa organizzazione territoriale collettiva. Tuttavia, questo modello intensivo presenta oggi numerose criticità ambientali.

In particolare, la coltivazione in sommersione richiede ingenti risorse idriche, infatti, si stima che per ottenere un solo chilo di riso siano necessari circa 5.000 litri di acqua. Si comprende come, in un contesto aggravato dai cambiamenti climatici e dalla crescente scarsità d'acqua, in particolare in regioni come il Piemonte, cresce la pressione verso metodi alternativi, come la coltivazione "in asciutta", meno impattante sulle risorse idriche ma anche meno produttive. Nonostante i cambiamenti dei processi di lavorazione, il riso resta naturale, i chicchi subiscono solo passaggi meccanici di pulitura senza trasformazioni chimiche mantenendo così inalterate le proprietà nutritive.<sup>15</sup>

Tuttavia, l'intero comparto si confronta con ulteriori aspetti come: l'abbassamento delle temperature, soprattutto nelle prime fasi colturali che può compromettere la germinazione e lo sviluppo delle piantine, gli stress biotici, l'aumento dei costi di produzione e le crescenti pressioni sociali e ambientali.<sup>16</sup>

In questo contesto agricolo emerge la necessità di ripensare l'intero ciclo di produzione del riso. Se da un lato è importante ridurre gli in-

14. Ente Nazionale Risi, Il risicoltore, Anno LXVII, n. 2, Febbraio 2025, [www.enterisi.it](http://www.enterisi.it) (ultimo consulto 17/06/2025)

15. P. Molinari, Diffusione della produzione e del consumo del riso in Italia, Geotema, 19, 2003, pp. 35-36.

16. A. Ferrero, Opportunità e limiti nella produzione del riso in Europa, GEO-TEMA, 19, 2003, p. 20.

put agricoli e migliorare la resilienza delle coltivazioni, dall'altro cresce l'interesse verso la valorizzazione dei sottoprodotti, spesso considerati come meri scarti. Elementi come la lolla di riso, la paglia o la crusca, se opportunamente trattati, possono trovare nuove applicazioni all'interno dei settori dell'edilizia, dell'energia o del design, contribuendo così a ridurre l'impatto climatico complessivo della filiera risicola e a promuovere modelli sempre più diffusi di economia circolare.

	2019	2020	2021	2022	2023	media
Bulgaria	11.820	12.350	12.050	10.580	11.200	11.600
Francia	15.100	14.320	12.030	11.760	12.120	13.066
Grecia	29.860	36.090	34.890	28.780	27.600	31.444
Ungheria	2.650	2.990	2.720	2.330	2.340	2.606
Italia	220.030	227.320	227.040	218.420	210.240	220.610
Portogallo	28.830	25.940	29.360	27.260	27.940	27.866
Romania	7.430	6.000	5.440	3.280	2.430	4.916
Spagna	103.370	102.060	84.680	56.040	55.120	80.254

Figura 1.01 - Tabella superfici raccolte a riso negli anni 2019-2023, in alcuni dei Paesi Europei, unità di misura (ha, ettari) (fonte: rielaborazione dell'autore da dati FAO-STAT, Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database)

## I SOTTOPRODOTTI DEL RISO

/1.2

I sottoprodotti della lavorazione del riso, residui della lavorazione della sbramatura del risone e poi della sbiancatura del riso sbramato, sono numerosi, come: la lolla, la pula, la grana verde, i risi rotti, la risina greggia e la gemma.<sup>1</sup> Nella maggior parte dei casi, questi prodotti di scarto vengono bruciati o smaltiti nelle fabbriche, con effetti molto deleteri sull'ambiente tra cui spicca, evidentemente, l'emissione dei gas serra inquinanti.<sup>2</sup>

Basti pensare che da un ettaro di risaia si ricavano 7 tonnellate di riso ma anche 5 tonnellate di paglia, 2 tonnellate di lolla, 1400 tonnellate di argilla e 1 tonnellata di pula. L'uso di questi sottoprodotti promuove lo sviluppo di un'economia circolare in cui i materiali di scarto vengono riutilizzati.<sup>3</sup>

Tra questi sottoprodotti, spesso definiti scarti, i più comuni e i più utilizzati sono la paglia, la lolla di riso e la pula di riso.

La paglia di riso è il residuo secco dello stelo della pianta, separato dai chicchi direttamente in campo durante la mietitura. Dopo la maturazione, la pianta viene lasciata essiccare sul terreno e la paglia viene poi raccolta sotto forma di balle, anch'esse confezionate direttamente sul campo.<sup>4</sup> La qualità della paglia di riso dipende da molteplici fattori: la varietà di riso, il tempo tra la raccolta e lo stoccaggio, l'uso di fertilizzanti azotati, il grado di maturazione delle piante (che influenza il contenuto di lignina), la salute delle piante e le condizioni meteorologiche.<sup>5</sup>

Dal punto di vista delle prestazioni tecniche, la paglia di riso possiede buone proprietà di isolamento termico (conducibilità termica  $\approx 0,04$  W/mK) e acustico, e un calore specifico pari a 1900J/KgK, che garantisce uno sfasamento termico di circa 23 ore. Per sua natura è biode-

1. E. Repaci, F. Allieri & M. Rondanelli, Qualità nutrizionali del riso e confronto con gli altri cereali. Nutritional aspects of rice and comparison with other cereals, Seminario riso, pp. 116.

2. A. Muraro, Scarti del riso in edilizia: l'innovazione che riduce gli sprechi e promuove la sostenibilità, rigeneriamo il territorio, 12 agosto 2023, [www.rigeneriamoterritorio](http://www.rigeneriamoterritorio) (ultimo consulto 18/06/2025).

3. T. Monterisi, Coibentazioni termiche: studi, dati e certificazioni sugli scarti del riso, Ricehouse, 5 luglio 2023, [blog.ricehouse.it](http://blog.ricehouse.it), (ultimo consulto 18/06/2025).

4. Case di riso, Novello case, [www.novellocaseinlegno.it](http://www.novellocaseinlegno.it), (ultimo consulto 18/06/2025).

5. S. Bruni, Studio di un nuovo pannello isolante per l'edilizia composto da paglia di riso trinciata e legante vegetale, Tesi di laurea, Politecnico di Torino, 2020, p.32.

gradabile, possiede buone qualità di controllo dell'umidità e, se riutilizzata, presenta un'impronta ecologica significativamente inferiore rispetto al suo smaltimento.<sup>6</sup>

Nonostante le sue potenzialità, si tratta di un sottoprodotto agricolo difficile da recuperare. La raccolta, che avviene dopo quella del prodotto principale, ovvero nel periodo di fine autunno, è spesso caratterizzata da piogge abbondanti e alti livelli di umidità ambientale, che ostacolano l'essiccazione in campo. Inoltre, il suo basso contenuto di proteine (2-7%) e l'elevato contenuto di silice ( $\text{SiO}_2 \approx 80\%$ ) la rendono inadatta per l'alimentazione animale, a causa della scarsa digeribilità. Tuttavia, la paglia può essere impiegata in altri ambiti, in particolare, può essere utilizzata come biocombustibile, da sola o in miscela con altre biomasse.<sup>7</sup>

Nel settore dell'edilizia sostenibile, la paglia di riso trova applicazioni innovative. Può essere impiegata come materiale isolante in pareti prefabbricate in legno oppure miscelato con leganti naturali per creare pannelli isolanti, come già sperimentato dall'azienda Ricehouse.<sup>8</sup> Altre sperimentazioni includono la rete di paglia di riso, ottenuta con l'intreccio di fibre di paglia di riso per produrre pannelli leggeri e resistenti, utilizzati come isolanti termici e acustici nelle pareti degli edifici, e il compensato di paglia di riso, realizzato combinando fibre di paglia e resine naturali per creare pannelli simili al compensato, utilizzabili in pareti, pavimenti, soffitti e rivestimenti interni.<sup>9</sup>

La pula di riso è lo strato che protegge il chicco, situato immediatamente sotto al guscio della lolla.<sup>10</sup> Si tratta di un sottoprodotto ricco di fibre e sostanze nutritive, tradizionalmente impiegato nei magnifici come mangime a basso costo per il bestiame e come fonte di fibra negli alimenti per gli animali domestici. È anche una buona fonte di vitamina B ed è generalmente ben tollerata dagli animali da allevamento. Il suo contenuto di olio (14-18%) ha un effetto ammorbidente sul grasso corporeo e sul grasso butirrico del latte. Nello specifico, la pula non sgrassata viene impiegata in quantità limitate come legante nei mangimi misti, mentre quella sgrassata può essere utilizzata in dosi più elevate. Spesso, la pula viene alterata con l'aggiunta di piccole

6. T. Monterisi, Coibentazioni termiche: studi, dati e certificazioni sugli scarti del riso, Ricehouse, 5 luglio 2023, [blog.ricehouse.it](http://blog.ricehouse.it), (ultimo consulto 18/06/2025).

7. S. Bruni, op. cit., p.32.

8. Case di riso, Novello case, [www.novellocaseinlegno.it](http://www.novellocaseinlegno.it), (ultimo consulto 18/06/2025).

9. A. Muraro, Scarti del riso in edilizia: l'innovazione che riduce gli sprechi e promuove la sostenibilità, rigeneriamo il territorio, 12 agosto 2023, [www.rigeneriamoterritorio.it](http://www.rigeneriamoterritorio.it), (ultimo consulto 18/06/2025).

10. Valorizzazione dei sottoprodotti, Riseria De Medici, [www.risodemedici.it](http://www.risodemedici.it), (ultimo consulto 18/06/2025).

percentuali di lolla di riso per raggiungere un tenore di fibre grezze del 10-15%.<sup>11</sup> Negli ultimi anni, la pula ha cominciato a essere valorizzata anche in ambiti diversi, come ad esempio nella produzione di energia tramite impianti a biogas.<sup>12</sup> In ambito edilizio, invece, la pula viene utilizzata come componente per la realizzazione di intonaci naturali, in combinazione con calce o argilla, grazie alla sua leggerezza, traspirabilità e buona resa in termini di isolamento termico.<sup>13</sup>

La lolla di riso è il guscio esterno del chicco, che si ottiene dalla lavorazione del risone grezzo tramite il processo di sbramatura. Si tratta di un sottoprodotto interessante per la versatilità d'uso che trova impiego in diversi settori quali: energetico, allevamenti, maneggi e in particolare nella bio-edilizia. Nel campo energetico, la lolla viene impiegata come biocombustibile, grazie al suo discreto potere calorifero. In ambito agricolo-zootecnico, invece, è utilizzata come fondo di lettiera per animali da stalla (bovini, pollame) e nei maneggi, ideale come lettiera per cavalli, poiché non assorbe umidità ed è di facile pulizia. È tuttavia nel settore della bio-edilizia che la lolla trova nuove forme di valorizzazione. Utilizzata già in passato come materiale isolante, è oggi reintrodotta nel settore edile con vari impieghi, trasformando uno scarto di lavorazione in una risorsa ecologica, naturale e riciclabile a zero impatto ambientale.<sup>14</sup>

Grazie alle sue notevoli proprietà di isolamento termico e acustico. È un materiale che garantisce alta traspirabilità delle pareti delle case in legno, evitando la formazione di muffe e condensa. Può essere utilizzata come isolante nelle case in legno ma anche per la costruzione di massetti e di termintonaci in calce e lolla con caratteristiche isolanti. La percentuale della lolla in peso rispetto al risone è del 30%, risulta voluminosa e leggera con una densità che varia tra i 120 e i 140 kg/m<sup>3</sup>, non marcisce, è intaccabile dagli insetti ed è biodegradabile. La sua composizione ha uno scarso contenuto di nutrienti (4%) ma per il resto è costituita da lignina, cellulosa e per il 21% da silice.<sup>15</sup>

A causa dell'elevato contenuto di silicio, tuttavia, la lolla di riso non è

11. S. Bruni, Studio di un nuovo pannello isolante per l'edilizia composto da paglia di riso trinciata e legante vegetale, Tesi di laurea, Politecnico di Torino, 2020, p.37.

12. Valorizzazione dei sottoprodotti, Riseria De Medici, [www.risodemedici.it](http://www.risodemedici.it), (ultimo consulto 18/06/2025).

13. Case di riso, Novello case, [www.novellocaseinlegno.it](http://www.novellocaseinlegno.it), (ultimo consulto 18/06/2025).

14. Valorizzazione dei sottoprodotti, Riseria De Medici, [www.risodemedici.it](http://www.risodemedici.it), (ultimo consulto 18/06/2025).

15. T. Monterisi, Coibentazioni termiche: studi, dati e certificazioni sugli scarti del riso, Ricehouse, 5 luglio 2023, [blog.ricehouse.it](http://blog.ricehouse.it), (ultimo consulto 18/06/2025).

ancora stata realmente sfruttata nell'industria alimentare e dei mangimi.<sup>16</sup>

Questa caratteristica, condivisa anche con la paglia di riso, che possiede un contenuto di silice pari all'80% del suo peso, rende questo materiale particolarmente adatto alla bioedilizia, dove resistenza all'umidità e stabilità nel tempo sono importanti requisiti.<sup>17</sup>

Si tratta quindi di sottoprodotti abbondanti, che meritano di essere pienamente integrati in strategie di economia circolare, contribuendo così alla riduzione dell'impatto ambientale della filiera risicola.

---

16. S. Bruni, op. cit., p.38.

17. Case di riso, Novello case, [www.novellocaseinlegno.it](http://www.novellocaseinlegno.it), (ultimo consulto 18/06/2025).

## L'AZIENDA RICEHOUSE

/ 1.3

Tra le realtà italiane che hanno colto il potenziale della filiera risicola in chiave edilizia, Ricehouse, Società benefit, rappresenta un'azienda innovativa nell'ambito della bioedilizia. Fondata nel 2016, nasce come startup sviluppando e commercializzando materiali da costruzione ottenuti dai sottoprodotti del riso, in particolare la lolla, la paglia e la pula, trasformandoli in componenti edilizi naturali, salubri ed efficienti.

L'azienda nasce dall'iniziativa dell'architetta Tiziana Monterisi (co-fondatrice e amministratrice delegata) e del geologo Alessio Colombo (co-fondatore e direttore operativo), con l'obiettivo di creare e promuovere un modello costruttivo alternativo e circolare. Questa azienda, partendo dalla filiera risicola, ha costruito un sistema integrato che include produzione, progettazione, formazione e innovazione con l'intento di creare un impatto positivo a livello ambientale, sociale, economico e territoriale.<sup>1</sup>

L'analisi di questa azienda risulta utile in quanto, nel capitolo successivo, verrà approfondito un sistema costruttivo prefabbricato innovativo, prodotto da Sarotto Group e sviluppato grazie alla collaborazione con Ricehouse, denominato RiceCyclingWall (RCW), e successivamente analizzato all'interno di un caso studio.

L'approccio di Ricehouse parte dalla problematica ormai fondata, il settore edilizio tradizionale, ad oggi sempre più responsabile di un significativo consumo energetico e di risorse naturali, oltre che di grandi quantità di emissioni climalteranti nell'ambiente. L'azienda, attraverso la bibliografia scientifica, le prove in laboratorio, i test e la collaborazione di tecnici del settore, ha identificato nel riso una materia prima-seconda dalle elevate proprietà. L'obiettivo è quello di sostituire tutti gli elementi convenzionali che fanno parte della casa (involucro verticale, orizzontale, intonaci, masetti) con materiali bio-based, derivanti dalla natura e che a fine vita possano poi ritornare in natura, come la lolla, la paglia e la pula.

Questo modello si inserisce in una logica di economia circolare, dove le materie prime vengono prelevate dall'ambiente, trasformate, utilizzate, smaltite e re-immesse nell'ambiente da cui provengono, senza diventare rifiuti. Talvolta, il valore intrinseco di mercato di questo materiale risulta potenzialmente superiore ai costi di gestione e trattamento dello stesso, se considerato come rifiuto o scarto di produzione.

In questo processo di valorizzazione dello scarto agricolo è possibile ridurre l'impatto ambientale e attivare ricadute positive in ambito sociale, agricolo e architettonico.

---

1. Dal riso all'architettura, Ricehouse, [www.ricehouse.it](http://www.ricehouse.it), (ultimo consulto 19/06/2025)

In particolare, l'obiettivo di Ricehouse è quello di armonizzare il sistema territoriale delineando una filiera produttiva integrata, a partire dalla materia prima. Per raggiungere questo fine, è importante ridurre le criticità legate all'approvvigionamento, così da poter strutturare un processo di trasformazione e impiego efficienti su scala industriale. Inoltre, bisogna pensare al percorso produttivo per salvaguardare le coltivazioni primarie e le risorse ambientali, assicurando al contempo la sostenibilità economica e tutelando gli interessi e i profitti delle diverse realtà coinvolte. Questo modello coinvolge tutte le figure presenti nella filiera e permette di creare un effetto positivo in termini di incremento e valorizzazione dei territori destinati alla produzione del riso.<sup>2</sup>

Le attività principali dell'azienda comprendono:

- Lo sviluppo e la produzione di materiali biocompositi, con particolare attenzione all'utilizzo dei prodotti secondari, come la paglia e la lolla di riso;
- La sperimentazione di tecniche costruttive e procedure di assemblaggio compatibili con questi materiali;
- La commercializzazione di materiali bio-based per applicazioni edilizie.

Tutte queste attività sono orientate alla realizzazione di prodotti ad alte prestazioni in termini di efficienza energetica e acustica, comfort abitativo, salubrità degli ambienti, eco-compatibilità e ridotto impatto ambientale.<sup>3</sup> In linea con i principi dell'Agenda 2030 delle Nazioni Unite, Ricehouse contribuisce al raggiungimento di dieci dei diciassette Obiettivi di Sviluppo Sostenibile (Sustainable Development Goals, SDG) tra cui:

- SDG: Salute e benessere
- SDG 5: Parità di genere
- SDG 8: Lavoro dignitoso e crescita economica
- SDG 9: Imprese, innovazione e infrastrutture
- SDG 10: Ridurre le disuguaglianze
- SDG 11: Città e comunità sostenibili
- SDG 12: Consumo e produzione responsabili
- SDG 13: Lotta contro il cambiamento climatico
- SDG 15: La vita sulla terra
- SDG 17: Partnership per gli obiettivi<sup>4</sup>

.....  
2. Relazione annuale d'impatto della Società Benefit, Da problema pubblico ad opportunità economica. La filiera degli scarti del Riso, 2023, pp. 3-4.

3. S. Bruni, Studio di un nuovo pannello isolante per l'edilizia composto da paglia di riso trinciata e legante vegetale, Tesi di laurea, Politecnico di Torino, 2020, p.9.

4. Relazione annuale d'impatto della Società Benefit, Da problema pubblico ad opportunità economica. La filiera degli scarti del Riso, 2023, pp. 19-23.

Ricehouse ha sviluppato una vasta gamma di materiali innovativi, alcuni dei quali saranno oggetto di approfondimento nei capitoli successivi. Questa realtà costituisce un esempio concreto di applicazione dei principi di economia circolare nel settore edilizio, attraverso un approccio di filiera basato su modelli replicabili e adattabili in diverse realtà agricole. La sua attività dimostra come un residuo agricolo, fino ad oggi scarsamente valorizzato, possa essere trasformato in una risorsa costruttiva con buone prestazioni. Una delle soluzioni più recenti e innovative è il sistema costruttivo prefabbricato RiceCyclingWall, che sarà oggetto di analisi nel capitolo successivo.

## II CAPITOLO

IL SISTEMA  
RICECYCLINGWALL  
(RCW)



Figura 2.01 - Dettaglio  
infixo parete prefabbricata  
RiceCyclingWall (RCW)  
(Fonte: Credits Rice House srl)

## IL SISTEMA RICECYCLINGWALL (RCW) / 2

Il secondo capitolo introduce e approfondisce un nuovo sistema costruttivo prefabbricato, il RiceCyclingWall (RCW), una soluzione per chiusure verticali opache a partire dall'impiego di materiali di origine naturale all'interno di una logica costruttiva a basso impatto ambientale. Nato dalla collaborazione tra più aziende, tra cui Ricehouse e Sarotto Group, produttore del sistema, il sistema è concepito per integrarsi con strutture portanti in calcestruzzo armato, configurandosi come una possibile alternativa ai sistemi tradizionali di tamponamento.

Il capitolo ne descrive la composizione stratigrafica e la sequenza produttiva, con particolare attenzione agli elementi costitutivi del pannello prefabbricato, tra cui la lolla di riso e il cemento naturale Prompt, evidenziandone il ruolo sia funzionale sia ambientale.

Infine, si approfondiscono le principali prestazioni tecniche del sistema RCW, tra cui: isolamento termico e acustico, inerzia termica, reazione al fuoco, durabilità, flessibilità e lavorabilità, qualità dell'aria, resistenza all'umidità, salubrità, resistenza meccanica, impatto ambientale, velocità e semplicità di posa.

## 2.1 / COMPOSIZIONE E PRODUZIONE RCW

Il sistema RiceCyclingWall (RCW) è una muratura monolitica e monomaterica, realizzata con materiali minerali naturali ad alto contenuto riciclato. La produzione delle pareti prefabbricate è stata curata dalla Sarotto Group, azienda situata a Narzole (CN), in via Cuneo 17, a circa 32 km in linea d'aria da Cuneo, sviluppata a partire dall'ottimizzazione del sistema costruttivo aziendale e dall'integrazione di scarti agricoli. Il risultato ottenuto è dato dalla collaborazione tra quattro aziende: Ricehouse, Sarotto Group, Vicat Group e Vimark.<sup>1</sup>

Progettato per essere installato direttamente in cantiere, il pannello RCW è composto da una miscela innovativa di materiali naturali che si integra con un telaio strutturale in calcestruzzo armato, creando una muratura monolitica. La produzione dei singoli pannelli avviene mediante il getto della miscela in casseforme appositamente predisposte, garantendo così un'elevata qualità e precisione nella realizzazione.<sup>2</sup> Gli ingredienti che compongono la miscela della parete prefabbricata RCW sono: lolla di riso, legante naturale Prompt, schiuma minerale e acqua.

Gli elementi principali, ovvero la lolla di riso e il legante idraulico naturale, sono stati selezionati in base alle loro proprietà fisico-chimiche e alla disponibilità come sottoprodotti o materiali a ridotto contenuto energetico. Le proprietà reattive del legante, in combinazione con le fibre naturali della lolla di riso, consentono di ottenere una miscela priva di additivi chimici e caratterizzata da una bassa concentrazione di legante rispetto alla biomassa. Lo stesso principio viene applicato agli intonaci e alle finiture, applicati successivamente sulla parete prefabbricata, che combinano lolla di riso e calce idrauliche naturali, garantendo così un sistema costruttivo omogeneo.



Figura 2.02 - Schema di rappresentazione dei costituenti della miscela (fonte: rielaborazione dell'autore da Rice House manuale)

### 2.1.1 / LA LOLLA DI RISO

La lolla di riso (Rice Husk, RH) è un sottoprodotto agricolo ottenuto dal processo di sbramatura del risone, ovvero il riso greggio. Durante questa fase viene eliminato il rivestimento esterno del chicco, costitui-

1. Italia che Cambia, "RiceCycling Wall: la nuova frontiera dell'edilizia sostenibile di Sarotto Group e Ricehouse", pubblicato il 18 ottobre 2024: [www.italiachecambia.org](http://www.italiachecambia.org)

2. Synchronia, "RiceCyclingWall - RiceHouse: [www.synchronia.com](http://www.synchronia.com)

to dalle glumelle, comunemente note come lolla.

La funzione principale della lolla è quella di proteggere la cariosside e trattenere il chicco sulla spiga.

Durante il processo di sbramatura, si riesce a recuperare circa il 60% di riso rispetto al peso iniziale del risone, mentre il restante 40% è costituito da sottoprodotti. In particolare, la lolla rappresenta circa il 15-20% del peso totale dei sottoprodotti, il che significa che da 100 kg di risone si ottengono mediamente 60 kg di riso e 15-20 kg di lolla.<sup>3</sup>

Dal punto di vista morfologico, si presenta di un colore giallastro quando è ancora attaccata al chicco, ma diventa marrone dopo la sbramatura. Con una struttura dura, leggera e voluminosa e una densità che varia tra 120 e 140 kg/m<sup>3</sup> è nota per la sua elevata resistenza al degrado: praticamente non marcisce ed è difficilmente attaccabile dagli insetti. Una volta separata dal risone, la lolla può essere sottoposta a diverse lavorazioni, dando origine alle seguenti tipologie:<sup>4</sup>

- Lolla fresca: scarto del risone non sottoposto a trattamenti, contribuisce ad aumentare il drenaggio e la microporosità dei substrati.
- Lolla parboiled: ottenuta dal processo di parboilizzazione del riso, viene sterilizzata per eliminare eventuali agenti patogeni.
- Lolla carbonizzata: parzialmente secca (50%) grazie a un processo di cottura in forno ad alte temperature.
- Lolla compostata: sottoposta a un processo di compostaggio di ventiquattro mesi, con una prima fase anaerobica seguita da una fase aerobica.
- Lolla espansa: sottoposta a surriscaldamento fino a 200°C, si espande fino a raggiungere il punto di rottura.
- Lolla invecchiata: lasciata invecchiare per favorire l'ossidazione passiva, che le conferisce la caratteristica colorazione marrone.<sup>5</sup>



Figura 2.16 - Lolla di riso sfusa per massetto a secco

(fonte: fotografia dell'autore)



Figura 2.17 - Lolla di riso (fonte: [www.arketipomagazine.it](http://www.arketipomagazine.it))

3. S. Tassinato, Prove di Taleggio di Rosa e Geranio su substrati contenenti lolla di riso e residui di digestato anaerobico, Università degli Studi di Padova, 2010-2011, p. 33.

4. G. Giaccione, Da scarti agroalimentari a prodotti per l'architettura e il design: sviluppo di un pannello con lolla di riso, Politecnico di Torino, 2019-2020, p.25

5. Ivi. pp. 25-26

Dal punto di vista chimico, la lolla di riso ha una composizione simile a quella del legno, essendo costituita principalmente da cellulosa, lignina, minerali e silicati.<sup>6</sup> È povera di sostanze nutritive, con un contenuto di circa il 3,3% di proteine e l'1,1% di grassi, mentre la cellulosa rappresenta il 45% della sua massa. Le ceneri, composte quasi interamente da ossido di silicio, costituiscono circa il 17% del totale.<sup>7</sup>

## 2.1.2 / IL LEGANTE NATURALE

Il cemento naturale PROMPT è un legante idraulico prodotto dall'azienda francese Vicat Group nel massiccio della Chartreuse, in Francia.<sup>8</sup>

I primi sviluppi del materiale si osservano in Inghilterra quando, nel 1796, James Parker brevetta un legante naturale a presa idraulica rapida, ottenuto macinando la pietra cotta a 900°C, ricavata da un calcare argilloso puro (septaria). All'inizio del XIX secolo, questo "cemento naturale a presa rapida" si diffonde in tutta l'Europa, assumendo impropriamente il nome di "cemento romano" per via delle sue caratteristiche simili alla miscela di calce e pozzolana usata nell'epoca romana.

Da oltre 180 anni, nel massiccio del Chartreuse, nella regione di Grenoble, la cava Pérelle consente l'estrazione di una marna unica, particolarmente adatta alla produzione del cemento naturale.<sup>9</sup>

Si tratta di un calcare argilloso dalla composizione chimica e mineralogica regolare, precisa e omogenea. Dopo l'estrazione dalla cava, la pietra viene frantumata in granuli di dimensioni massime pari a 150 mm, mescolata con carbone e introdotta nei forni verticali tradizionali. La cottura avviene a basse temperature (tra i 500°C e i 1200°C) a causa di diversi fattori:

- L'intensità variabile dell'aria all'interno del forno, influenzata dalla distribuzione granulometrica eterogenea della pietra, che determina una combustione più o meno intensa.
- La distribuzione disomogenea del carbone, le cui ceneri possono localmente provocare la fusione delle pietre.
- La presenza di materiali organici nella pietra, che durante la cal-

6. Rice House, Manuale di posa: Sistema prefabbricato in pareti monolitiche lolla e legante idraulico naturale. RiceCyclingWall, Ricehouse srl SB, ultimo aggiornamento novembre 2024, p. 2

7. Wikipedia, "Lolla", 2023, it.wikipedia.org (Ultimo consulto 26 aprile 2025).

8. Rice House, op. cit., p. 2

9. Cemento Naturale Prompt, Storia, www.cemento-naturale-prompt.it, (Ultimo consulto 27 aprile 2025).

cinazione contribuiscono ad apportare ulteriore calore.

Al termine della cottura, le pietre, dette "grumi", vengono classificate in base al livello di cottura: non cotte, cotte e sovra-cotte. Una corretta proporzione tra i diversi grumi è fondamentale per ottenere un cemento naturale di qualità. Successivamente, i grumi vengono frantumati e macinati fino a ottenere una polvere fine, con una granulometria circa due volte più sottile rispetto a quella dei cementi tradizionali.

Il cemento naturale PROMPT si distingue per il suo colore ocra giallastro tendente al marrone, anziché al grigio, conferendo nel tempo una patina notevole. Non necessita di additivi o componenti esterni, mantenendo inalterata la sua composizione naturale.

A differenza della calce idraulica, il cemento naturale PROMPT contiene una quantità ridotta di calce viva, eliminando la necessità del processo di estinzione successivo alla cottura. Questo conferisce al materiale una maggiore lavorabilità e contribuisce alle sue proprietà di presa e indurimento rapidi.

Dal punto di vista tecnico, il cemento naturale PROMPT si caratterizza per una reazione estremamente veloce con l'acqua, influenzando le modalità e le tempistiche di lavorazione. L'assenza di additivi chimici e il metodo di produzione a basse temperature lo rendono un materiale con un impatto ambientale inferiore rispetto ai cementi Portland.<sup>10</sup>



Figura 2.18 - Polvere cemento naturale Prompt  
(fonte: www.cemento-naturale-prompt.it)



Figura 2.19 - Roccia calcarea argillosa  
(fonte: www.cemento-naturale-prompt.it)

10. Cemento Naturale Prompt, Prodotto, www.cemento-naturale-prompt.it, (ultimo consulto 27 aprile 2025).

## 2.2 / PROCESSO PRODUTTIVO E MONTAGGIO

Il sistema prefabbricato RiceCyclingWall (RCW) prende forma attraverso la colatura di una miscela naturale all'interno di casseri industriali appositamente progettati. Prima della colatura, all'interno dei casseri vengono posizionate armature tralicciate, sia longitudinali che trasversali, con lo scopo di aumentare la compattezza del materiale e migliorare la resistenza strutturale, in particolare quella antisismica. A seguire, la miscela viene colata, vibrata per eliminare eventuali bolle d'aria e staggiata per ottenere una superficie esterna perfettamente planare. La geometria dei casseri consente di realizzare pareti monolitiche dotate già di scanalature interne per gli impianti e aperture per porte e finestre, evitando ulteriori lavorazioni in cantiere.

I monoliti così ottenuti vengono lasciati essiccare naturalmente, senza necessità di cottura o trattamenti in autoclave, riducendo così l'impatto ambientale del processo produttivo.

Le armature interne conferiscono alla parete una maggiore resistenza alla flessione e alla trazione, distribuendo uniformemente le sollecitazioni, comprese quelle sismiche. Questo consente di limitare la formazione di crepe e fessurazioni, contribuendo alla durabilità della struttura.

La connessione tra le pareti prefabbricate RCW e la struttura portante in calcestruzzo armato, gettata in opera, avviene tramite un sistema maschio-femmina. Le pareti sono infatti dotate di incavi semicilindrici lungo i bordi laterali, che permettono l'ancoraggio ai pilastri in calcestruzzo, realizzati successivamente alla loro posa.

Oltre alle pareti, vengono prodotti anche elementi speciali che fungono da cassero a perdere per i pilastri. Questi sono costituiti da una pannellatura in legno accoppiata a un setto realizzato con la stessa miscela della parete RCW, assicurando continuità materica, correzione dei ponti termici e un miglior comportamento dell'involucro edilizio. Il getto dei pilastri in calcestruzzo, eseguito dopo la posa delle pareti, consente di saldare i diversi elementi tra loro, aumentando la stabilità strutturale e prevenendo il ribaltamento fuori piano delle pareti, con un notevole miglioramento della resistenza antisismica dell'edificio.

Le scanalature a profilo grecato presenti sul lato interno del pannello prefabbricato sono progettate per accogliere gli impianti tecnici già in fase di posa in cantiere, semplificando e velocizzando le operazioni esecutive. Tali scanalature vengono successivamente chiuse mediante l'applicazione di pannelli RH700, realizzati in paglia di riso e legante naturale, posati a secco o incollati con adesivi specifici, a seconda delle esigenze del progetto.

Il sistema RiceCyclingWall è un sistema composto da pareti isolanti

termicamente ma al tempo stesso può prestarsi all'implementazione di cappotti termici. L'implementazione di un cappotto termico può migliorare ulteriormente le prestazioni invernali anche con l'obiettivo di raggiungere le caratteristiche delle cosiddette "case passive". L'utilizzo di una superficie già in sé isolante, quale la parete RCW, permette di utilizzare cappotti ridotti e di raggiungere le prestazioni delle case passive anche con materiali naturali ed ecologici.

L'isolamento esterno a cappotto, in abbinamento al sistema parete RCW, può essere realizzato sia mediante pannelli in paglia di riso pre-compressa RH-P100, sia tramite l'applicazione di un termo-intonaco RH110, composto da un premiscelato a base di calce, pula di riso e microsilice amorfa alleggerita.

Infine, le finiture sono realizzate con intonaci naturali, formulati in base alla destinazione d'uso: <sup>1</sup>

- Per interni ed esterni: intonaci a base di calce e pula di riso.
- Per soli interni: intonaci in argilla e pula di riso, per una maggiore regolazione dell'umidità e del comfort abitativo.

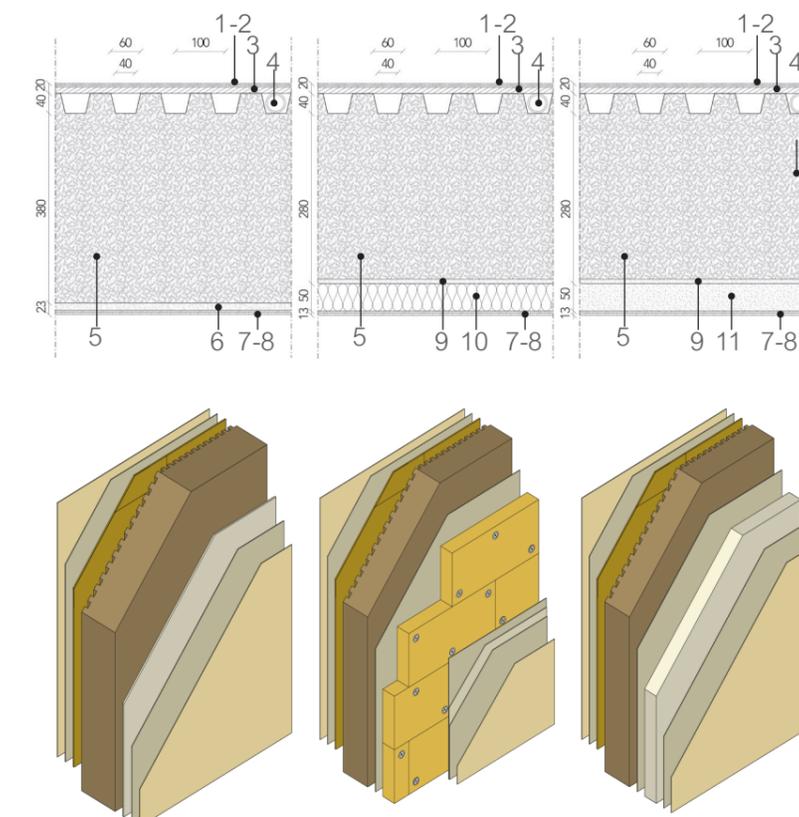
Figura 2.03 - Stratigrafia della parete prefabbricata RCW42, RCW32+RH-P100, RCW32+RH110 (fuori scala)

Legenda:

- 1 - Finitura (RH200/RH220/RH410/RH420/RH500)
- 2 - Intonachino rasante RH210
- 3 - Pannelli di chiusura RH700
- 4 - Scanalature impiantistiche
- 5 - Parete prefabbricata RCW
- 6 - Intonaco di fondo RH100
- 7 - Intonachino rasante RH210
- 8 - Intonachino di finitura RH220
- 9 - Rinzafo RH-Rinzafo
- 10 - Isolante in pannelli RH-P100
- 11 - Termo-intonaco RH110

(fonte: rielaborazione dell'autore da Rice House manuale)

Figura 2.04 - Concept della stratigrafia della parete prefabbricata RCW42, RCW32+RH-P100, RCW32+RH110 (fonte: Rice House manuale)



1. Ricehouse, Manuale di posa: Sistema prefabbricato in pareti monolitiche lolla e legante idraulico naturale. RiceCyclingWall, Ricehouse srl SB, ultimo aggiornamento novembre 2024, p. 6.

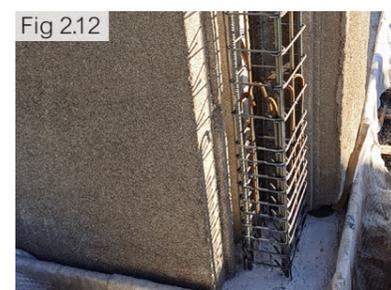
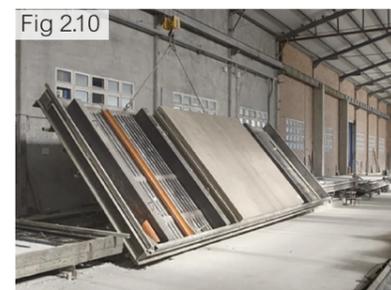


Figura 2.06/ 2.07/ 2.08/ 2.09/ 2.10/ 2.11 - Analisi fotografica (da in alto a sinistra a in basso a destra) fase di creazione del pannello prefabbricato RCW, getto della miscela all'interno dei casseri, livellamento e asciugatura (fonte: [www.sarotto.it](http://www.sarotto.it), consultato il 20-03-2025)

Figura 2.12 - Dettaglio nodo tecnologico angolo parete-pilastro, sistema maschio-femmina (fonte: Rice House manuale)

Figura 2.13 - Casseri a perdere per i pilastri (fonte: Rice House manuale)

Figura 2.14 - Dettaglio scanalature grecate all'interno della parete RCW (fonte: Fotografia dell'autore)

Figura 2.15 - Dettaglio collocazione impianti (fonte: Rice House manuale)

## PRESTAZIONI DEL SISTEMA RCW

/ 2.3

Il sistema prefabbricato RCW (RiceCyclingWall) è una soluzione per chiusure verticali composta da una miscela di cemento naturale e lolla di riso, materiale di scarto agricolo con proprietà isolanti. Il sistema è concepito come muratura monolitica prefabbricata, realizzata in stabilimento e montata in cantiere in combinazione con strutture a telaio in calcestruzzo armato. La stratigrafia del pannello integra diverse funzioni prestazionali: isolamento termico e acustico, traspirabilità e regolazione igrometrica. Le varianti di spessore disponibili permettono di adattare la soluzione alle esigenze climatiche e progettuali, anche con l'aggiunta di strati esterni come cappotti.

Il sistema è ottimizzato per ridurre le lavorazioni in cantiere, grazie alla prefabbricazione su misura, alla presenza di predisposizioni impiantistiche e all'inclusione di componenti integrativi come casseri a perdere. Questo consente un'elevata velocità di posa, accompagnata da semplicità esecutiva e riduzione dei tempi di realizzazione.

Ulteriori vantaggi riguardano la durabilità nel tempo, la resistenza al fuoco, la salubrità dei materiali naturali privi di emissioni nocive, e il contributo alla qualità dell'aria interna. L'uso di materiali riciclati e riciclabili come la lolla di riso permette di ridurre l'impatto ambientale del sistema.

Nei paragrafi seguenti, le prestazioni tecniche del sistema RCW vengono analizzate in modo dettagliato sulla base del Manuale di posa: Sistema prefabbricato in pareti monolitiche lolla e legante idraulico naturale, RiceCyclingWall dell'azienda Ricehouse.

### ISOLAMENTO TERMICO:

Il sistema prefabbricato RCW presenta una stratigrafia composta da una miscela a base di lolla di riso, materiale isolante di origine vegetale, e legante idraulico naturale ad alta densità. La configurazione è disponibile in due varianti: una parete monolitica da 42 cm con una trasmittanza termica pari a 0,23 W/mK, che non richiede ulteriori strati isolanti; e una versione da 32 cm, che può essere integrata con un isolamento esterno tramite sistema a cappotto costituito da pannelli in paglia di riso (RH-P100) o da termo-intonaci naturali (RH110), con spessori compresi tra 6 e 7 cm.

Queste soluzioni consentono di ridurre la dispersione termica sia in inverno che in estate e soddisfare i requisiti normativi per l'efficienza energetica dell'involucro edilizio.

### ISOLAMENTO ACUSTICO:

La struttura cava e porosa della lolla di riso, caratterizzata da una matrice fibrosa a base di silice e cellulosa, contribuisce all'assorbimen-

to e alla dissipazione delle onde sonore, riducendo il riverbero e migliorando il comfort acustico negli ambienti interni. Il comportamento fonoassorbente è intrinseco al materiale e non richiede l'aggiunta di strati dedicati.

#### **INERZIA TERMICA:**

La massa e la composizione della parete prefabbricata conferiscono al sistema un'elevata capacità di accumulo termico. Il tempo di sfasamento indicato è superiore alle 24 ore, garantendo un efficace contenimento dei picchi di temperatura interna durante i mesi estivi e una buona stabilità termica invernale.

#### **REAZIONE AL FUOCO:**

Il sistema RCW utilizza una miscela a base di legante Prompt naturale e lolla di riso, finita con intonaci a base di calce con proprietà ignifughe. Il pacchetto murario raggiunge una classificazione di reazione al fuoco B-s1, d0, che indica una limitata propagazione della fiamma e una bassa emissione di fumi. I pannelli isolanti RH-P100, sebbene classificati E, risultano compatibili con i requisiti di sicurezza quando integrati in un sistema ETICS, senza rilascio di sostanze tossiche in caso di incendio.

#### **DURABILITÀ:**

Il contenuto di silice nella lolla di riso conferisce alla parete una naturale resistenza alla degradazione biologica (marcescenza, attacchi fungini e parassitari). L'uso di intonaci a base di calce per le finiture esterne, in combinazione con la muratura monolitica, garantisce una buona resistenza agli agenti atmosferici, ai raggi UV e all'invecchiamento dei materiali, mantenendo le prestazioni nel tempo.

#### **FLESSIBILITÀ E LAVORABILITÀ:**

Il sistema costruttivo è composto da elementi prefabbricati su misura, progettati per integrarsi con una struttura a telaio in calcestruzzo armato. Gli incastri maschio-femmina facilitano l'allineamento con i pilastri, mentre le scanalature interne per il passaggio degli impianti riducono la necessità di lavorazioni successive. Inoltre, vengono forniti anche elementi speciali che fungono da casseri a perdere, ottimizzando tempi di posa e coordinamento in cantiere.

#### **RESISTENZA ALL'UMIDITÀ:**

La parete prefabbricata, pur essendo traspirante, è strutturata per prevenire la formazione di condensa interstiziale e superficiale, grazie alla semplicità e compattezza della stratigrafia. L'intonaco interno in argilla svolge un ruolo attivo nel regolare i livelli di umidità interna, ma deve essere protetto da contatti diretti con l'acqua, risultando inadatto per superfici esposte come cucine e bagni.

#### **QUALITÀ DELL'ARIA:**

L'impiego di materiali vegetali naturali e traspiranti, unito alla capacità igroscopica degli intonaci interni, favorisce la creazione di un microclima interno stabile e contribuisce al miglioramento della qualità dell'aria, riducendo i livelli di umidità e la concentrazione di agenti inquinanti volatili.

#### **SALUBRITÀ:**

I materiali impiegati sono privi di additivi chimici e colle industriali, evitando l'emissione di sostanze volatili nocive come la formaldeide. L'assenza di formaldeide e l'impiego di leganti naturali contribuiscono a minimizzare le emissioni nocive negli ambienti interni. La struttura traspirante della parete e l'uso di intonaci a base di argilla per gli interni migliorano la regolazione dell'umidità e contrastano la formazione di muffe e condense superficiali.

#### **RESISTENZA MECCANICA:**

La parete prefabbricata è rinforzata con reticoli in tralicci metallici integrati nella miscela, migliorando la capacità portante e la resistenza a sollecitazioni statiche e dinamiche, inclusi i carichi sismici. L'interazione delle pareti con strutture in calcestruzzo armato, garantita da incastri maschio-femmina, contribuisce alla stabilità e alla capacità di assorbire le sollecitazioni sismiche.

#### **IMPATTO AMBIENTALE:**

I componenti del sistema RCW derivano da sottoprodotti agricoli non trattati, in particolare la lolla di riso, e sono in larga parte riciclabili a fine vita. La scelta di questi materiali consente di evitare l'incenerimento degli scarti e trattenere parte della CO biogenica assorbita durante la crescita della pianta e, durante il ciclo di vita del prodotto, continuano a contribuire alla riduzione del contenuto di carbonio in atmosfera.

#### **VELOCITÀ E SEMPLICITÀ DI POSA:**

Il sistema RCW permette un'elevata velocità esecutiva in fase di cantiere. Le pareti di tamponamento, prefabbricate su misura, vengono consegnate pronte per l'installazione, con dimensionamenti già adattati alla struttura portante. La presenza di scanalature interne per gli impianti e di componenti accessori predisposti (come casseri a perdere) consente di semplificare e ottimizzare le operazioni in cantiere, riducendo tempi e costi di realizzazione.<sup>1</sup>

.....  
1. Manuale di posa: Sistema prefabbricato in pareti monolitiche lolla e legante idraulico naturale, Ricecycling Wall, ultimo aggiornamento novembre 2024, pp. 1-2.



## CASA LH, NOVARA: ANALISI / 3 DI UN CANTIERE

Dopo aver approfondito il sistema costruttivo prefabbricato RCW e le sue caratteristiche tecniche, questo capitolo si concentra sull'analisi diretta del cantiere della "Casa LH", realizzata nella provincia di Novara. Lo studio di questo caso permette di osservare l'applicazione concreta del sistema RCW all'interno di un processo costruttivo reale. L'analisi è stata personalmente condotta attraverso sopralluoghi in cantiere, documentazione fotografica e il confronto con i professionisti coinvolti nel progetto. Il capitolo è organizzato con una breve descrizione iniziale del progetto in analisi, l'analisi dei materiali naturali impiegati, le tempistiche per la realizzazione del progetto e a seguire tutte le fasi operative eseguite nel cantiere.

L'obiettivo è documentare e comprendere le fasi operative, i materiali utilizzati, le tempistiche, l'organizzazione e le soluzioni tecniche adottate, interfacciandosi con un contesto reale.

## 3.1 / IL PROGETTO

Il cantiere analizzato riguarda la realizzazione di un'abitazione unifamiliare monopiano, commissionata da un cliente privato e inserita in un contesto rurale della provincia di Novara, realizzato dall'azienda Ricehouse in collaborazione con Sarotto Group, Vicat Group e Isoltech.

L'intervento prevede l'utilizzo del sistema prefabbricato RiceCyclingWall (RCW), costituito da una combinazione di materiali di origine naturale provenienti dalla lavorazione del riso e una struttura portante in cemento armato. Il sistema si compone di elementi prefabbricati progettati per garantire prestazioni in termini di isolamento termoigrometrico, qualità dell'aria interna e durabilità dei componenti edilizi.<sup>1</sup>

L'analisi condotta in ambito di cantiere ha l'obiettivo di ricostruire e descrivere in modo dettagliato l'organizzazione operativa, le fasi realizzative e le tempistiche di un cantiere che adotta materiali di origine vegetale e soluzioni prefabbricate. L'indagine è stata svolta attraverso sopralluoghi diretti in cantiere, documentazione fotografica delle fasi esecutive e raccolta di dati tramite interviste ai soggetti coinvolti nel processo costruttivo. I contenuti rilevati sono stati successivamente analizzati e sistematizzati.

Il lotto in cui si colloca Casa LH è caratterizzato da ampi spazi ricchi di vegetazione e da un'atmosfera tranquilla e luminosa che garantiscono un perfetto equilibrio tra paesaggio e architettura.

L'abitazione presenta una pianta rettangolare, con una lunghezza di 12,20 m (con l'aggiunta di un ripostiglio esterno di 1,70 m) e una larghezza di 4,20 m, per una superficie calpestabile totale di 40,55 m<sup>2</sup>. Gli spazi interni sono distribuiti come segue:

- Camera da letto: 11,20 m<sup>2</sup>
- Disimpegno: 2,09 m<sup>2</sup>
- Bagno: 4,30 m<sup>2</sup>
- Open space (soggiorno + cucina): 16,58 m<sup>2</sup>
- Ripostiglio esterno: 6,38 m<sup>2</sup>

La copertura dell'edificio è a doppia falda, realizzata con una struttura in travi di legno e un rivestimento in lamiera metallica. Le falde sporgono di 50 cm sui lati lunghi e di 20 cm su quelli corti, ad eccezione della zona del ripostiglio, dove risultano a filo con il perimetro murario.<sup>2</sup>

1. Rice House, Manuale di posa: Sistema prefabbricato in pareti monolitiche lolla e legante idraulico naturale. RiceCyclingWall, Ricehouse srl SB, ultimo aggiornamento novembre 2024, p. 2.

2. Informazioni fornite dal progetto esecutivo dell'azienda Rice House.

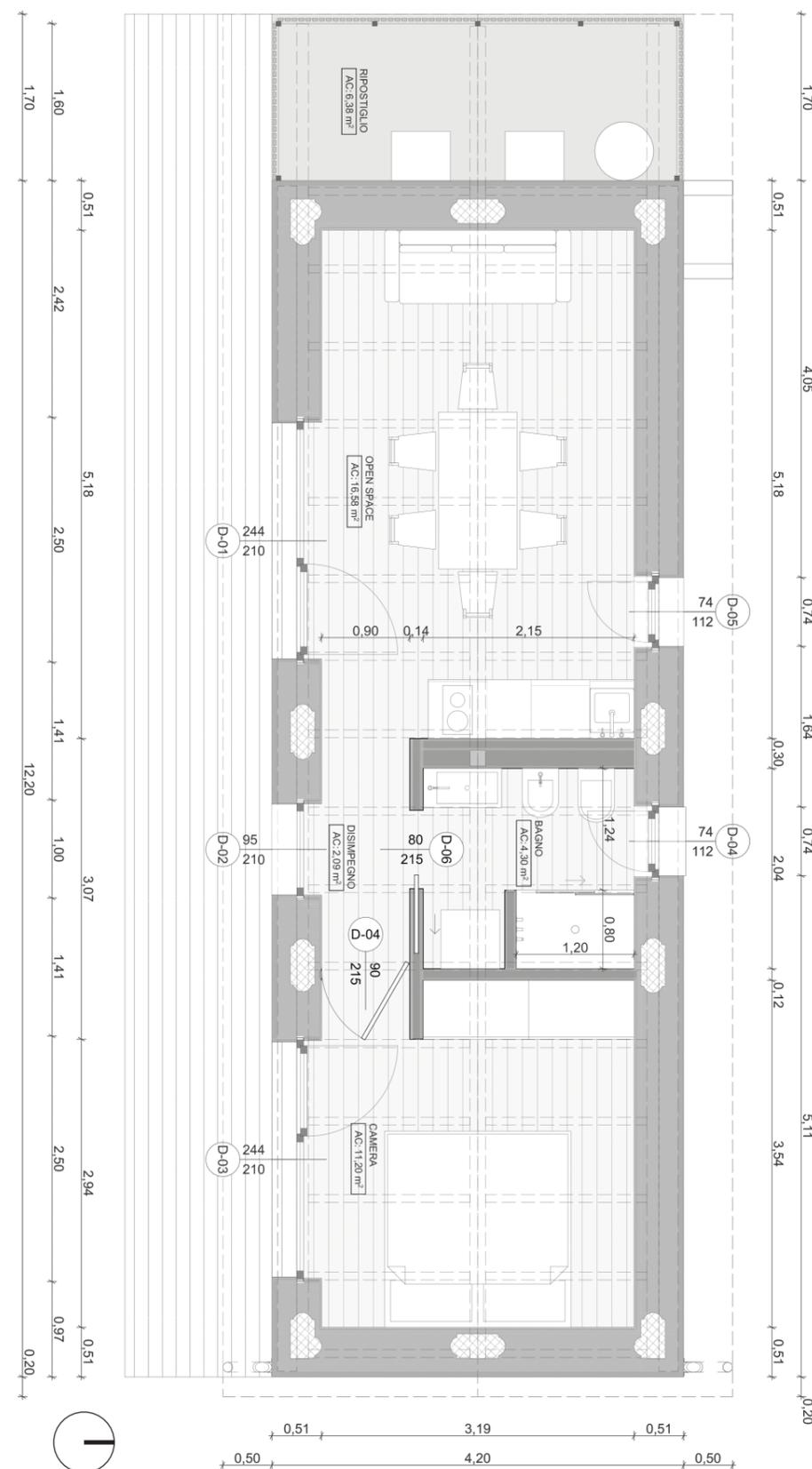


Figura 3.02 - Pianta piano terra (scala non definita)  
(fonte: rielaborazione dell'autore da Rice House esecutivo)

## 3.2 / I MATERIALI NATURALI

La seguente classificazione ha l'obiettivo di suddividere i materiali impiegati nel progetto in base alla loro origine (naturale o non naturale) e al tipo di processo che ne ha determinato la trasformazione (organico, minerale, sintetica). La distinzione proposta è da intendersi come orientativa, poiché molti materiali si collocano in una zona intermedia tra categorie, a seconda del grado di trattamento subito o della composizione multipla. In particolare, alcuni materiali naturali possono includere componenti sintetiche (es. colle, additivi, trattamenti superficiali), mentre materiali di origine minerale possono essere considerati più o meno industriali in base al ciclo produttivo.

### MATERIALI NATURALI

#### 1. ORIGINE VEGETALE



Lolla di riso



Paglia di riso



Legno

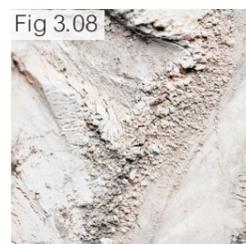
#### 2. ORIGINE VEGETALE



Calce



Argilla



Polveri di marmo



Inerti silicei/calcarei



Cemento Prompt

Figura 3.03 - Texture lolla di riso (fonte: Rice House [www.ricehouse.it](http://www.ricehouse.it))

Figura 3.04 - Texture paglia di riso (fonte: Rice House [www.ricehouse.it](http://www.ricehouse.it))

Figura 3.05 - Texture legno di copertura (fonte: foto dell'autore)

Figura 3.06 - Texture polvere di calce (fonte: [www.caparol-media.it](http://www.caparol-media.it))

Figura 3.07 - Texture polvere di argilla (fonte: [it.freepik.com](http://it.freepik.com))

Figura 3.08 - Texture polvere di marmo (Fonte: Rice House (fonte: [it.freepik.com](http://it.freepik.com)))

Figura 3.09 - Texture inerti silicei e calcarei (fonte: [it.freepik.com](http://it.freepik.com))

Figura 3.10 - Texture cemento Prompt (fonte: [www.cemento-naturale-prompt.it](http://www.cemento-naturale-prompt.it))

## MATERIALI NON NATURALI

### 1. ORIGINE MINERALE



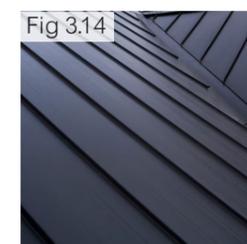
Vetro/fibra di vetro



Calcestruzzo



Acciaio



Lamiera metallica



Cordolo ytong

Figura 3.11 - Texture vetro (fonte: foto dell'autore)

Figura 3.12 - Texture calcestruzzo (fonte: foto dell'autore)

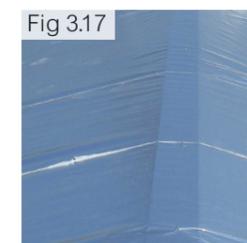
Figura 3.13 - Texture armatura in acciaio (fonte: Rice House [www.ricehouse.it](http://www.ricehouse.it))

Figura 3.14 - Texture lamiera metallica (fonte: [it.freepik.com](http://it.freepik.com))

Figura 3.15 - Texture cordolo ytong (fonte: foto dell'autore)



XPS



Barriera al vapore



Guaina bituminosa

Figura 3.16 - Texture XPS (polistirene espanso estruso) (fonte: foto dell'autore)

Figura 3.17 - Texture barriera al vapore (fonte: [aertetto.it](http://aertetto.it))

Figura 3.18 - Texture guaina bituminosa (fonte: foto dell'autore)



Guarnizione

Figura 3.19 - Texture nastro di guarnizione (fonte: foto dell'autore)

La composizione dei materiali impiegati evidenzia una maggiore incidenza di componenti naturali vegetali, affiancati da materiali minerali e da una quota minore di elementi industriali e sintetici, necessari per prestazioni tecniche. Una scelta bilanciata tra queste categorie contribuisce a ridurre l'impatto ambientale complessivo del progetto.

### 3.3 / CRONOPROGRAMMA

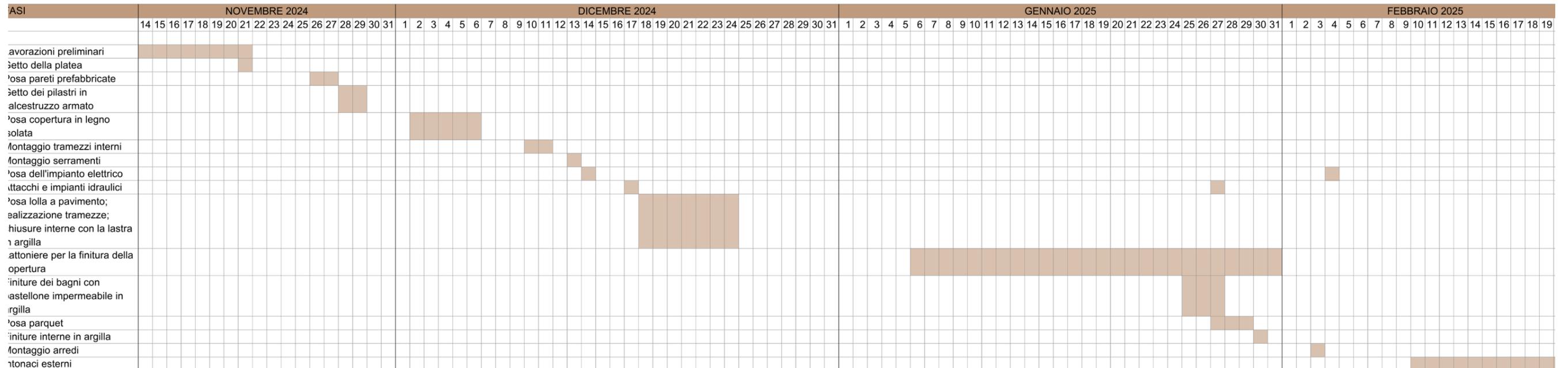
Il cronoprogramma riportato di seguito documenta in modo dettagliato la sequenza temporale delle lavorazioni eseguite nel cantiere della Casa LH. Le attività si sono svolte in un arco temporale di circa quattro mesi, da novembre 2024 a fine febbraio 2025, tenendo conto delle pause festive. La pianificazione ha previsto una suddivisione delle fasi operative, con attenzione alla sequenza delle lavorazioni e alla compatibilità tra materiali, tempi tecnici e condizioni climatiche.

Il cantiere è stato organizzato per ridurre l'incidenza di lavorazioni in loco, attraverso l'impiego di componenti prefabbricati, in particolare del sistema RCW, che ha consentito una riduzione dei tempi e delle risorse. La tempistica di ogni fase è stata calibrata in funzione della disponibilità degli elementi prefabbricati, delle condizioni meteorologiche (particolarmente rilevanti per l'applicazione dei materiali naturali) e dei tempi di maturazione di calcestruzzo, malte e finiture.

Le operazioni sono iniziate con gli scavi e la formazione della platea di fondazione, seguite dalla posa delle pareti prefabbricate RCW e dal getto dei pilastri in cemento armato. A seguire sono stati montati la struttura di copertura in legno e l'isolamento, e successivamente realizzati i tramezzi interni e predisposti gli impianti elettrici e idraulici.

Figura 3.48 - Tabella cronoprogramma delle lavorazioni di cantiere (fonte: rielaborazione dell'autore)

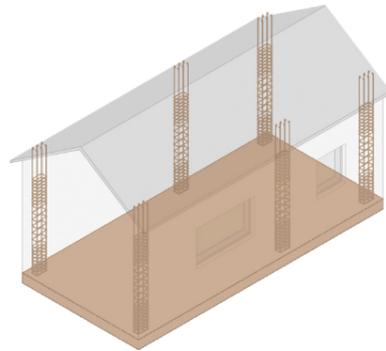
Le fasi successive hanno previsto la posa dei pannelli interni in argilla, l'installazione dei serramenti, la realizzazione delle finiture interne, il parquet e infine, a fine febbraio, l'esecuzione delle finiture esterne, che necessitavano condizioni climatiche particolari. La corretta gestione delle tempistiche è fondamentale per garantire l'integrità dei materiali impiegati, molti dei quali, come gli intonaci in argilla e calce, richiedono condizioni ambientali specifiche per una corretta applicazione.



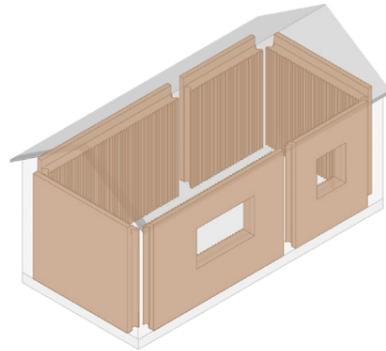
## FASI DI PROGETTO:

Illustrazione delle principali fasi costruttive del sistema prefabbricato RiceCyclingWall (RCW), dal getto della platea di fondazione in calcestruzzo armato (Fase I) fino alla posa delle finiture (Fase VII). La sequenza, sviluppata in forma di concept, rappresenta l'assemblaggio progressivo dell'involucro edilizio del progetto Casa LH.

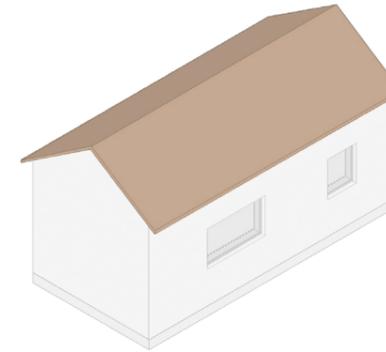
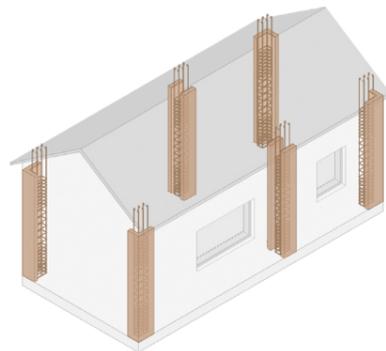
**FASE I**  
Platea di fondazione in calcestruzzo armato



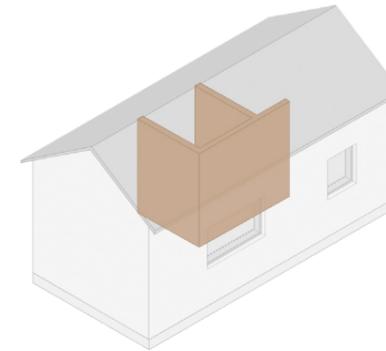
**Fase II**  
Involucro opaco



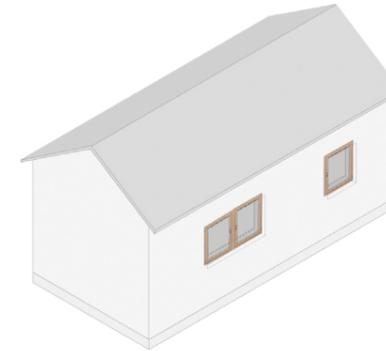
**Fase III**  
Struttura di elevazione



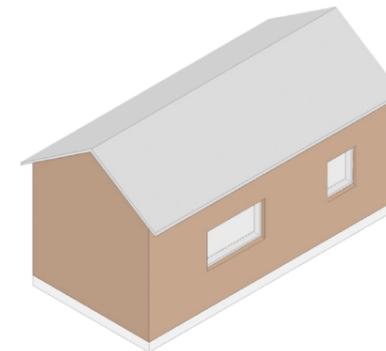
**Fase IV**  
Copertura



**Fase V**  
Partizioni interne



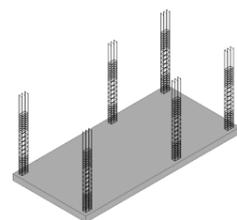
**Fase VI**  
Serramenti



**Fase VII**  
Finiture

### 3.4 / FASE I

## REALIZZAZIONE DELLA PLATEA DI FONDAZIONE IN CALCESTRUZZO ARMATO



La prima fase del cantiere è stata la realizzazione del getto in calcestruzzo armato (cls) per la platea di fondazione. Prima di questa operazione, dal 14 al 21 Novembre, è stata eseguita un'accurata pianificazione preliminare del cantiere, analizzando i rischi e organizzando le lavorazioni, tra cui il getto della platea, il sollevamento delle pareti e la movimentazione delle attrezzature in relazione al peso degli elementi costruttivi e al raggio d'azione disponibile. Questa fase è stata affidata a operatori e responsabili specializzati per garantire sicurezza ed efficienza.

Il 21 novembre si è effettuata la demolizione della preesistenza, mantenendo solamente la platea di fondazione in calcestruzzo armato. Su questa base è stata realizzata una nuova platea, anch'essa in cemento armato, con l'utilizzo di una pompa autocarrata, che assolve diverse funzioni:

- Fornisce una superficie orizzontale e planare su cui edificare;
- Garantisce un'omogenea distribuzione dei carichi strutturali;
- Offre resistenza ai movimenti e ai cedimenti del suolo;
- Consolida il sistema struttura-superficie;
- Permette la posa delle pareti al di sopra della quota del terreno.

All'interno della platea di fondazione sono stati predisposti i tirafondi per il collegamento con l'armatura dei pilastri della struttura portante a telaio.

Una volta completato il getto, è fondamentale verificare che la platea abbia raggiunto la maturazione adeguata e la resistenza prevista per supportare il carico delle pareti. Inoltre, è necessario controllare l'integrità e la planarità della superficie: eventuali imperfezioni o eccessi di calcestruzzo che potrebbero compromettere l'appoggio delle pareti devono essere corretti mediante levigatura con attrezzature specifiche, come levigatrici per calcestruzzo o frattazzi elettrici.

Infine, si procede alla posa delle armature longitudinali con staffe, per la realizzazione dei pilastri, assicurandone una solida connessione ai tirafondi dell'armatura della fondazione. Le operazioni svolte in questa fase sono state eseguite da tre operai, gli stessi che si occuperanno della fase successiva.

Figura 3.10 - Concept Fase I: Platea di fondazione in calcestruzzo armato (fonte: rielaborazione dell'autore)



Figura 3.11 - Dettaglio tecnologico attacco a terra 1:10

Legenda:

1. Terreno
2. Magrone
3. Platea di fondazione in c.a.
4. Guaina bituminosa
5. Massetto a secco RHL
6. Barriera al vapore
7. RiceCyclingWall
8. Zoccolo in XPS

(fonte: rielaborazione dell'autore)

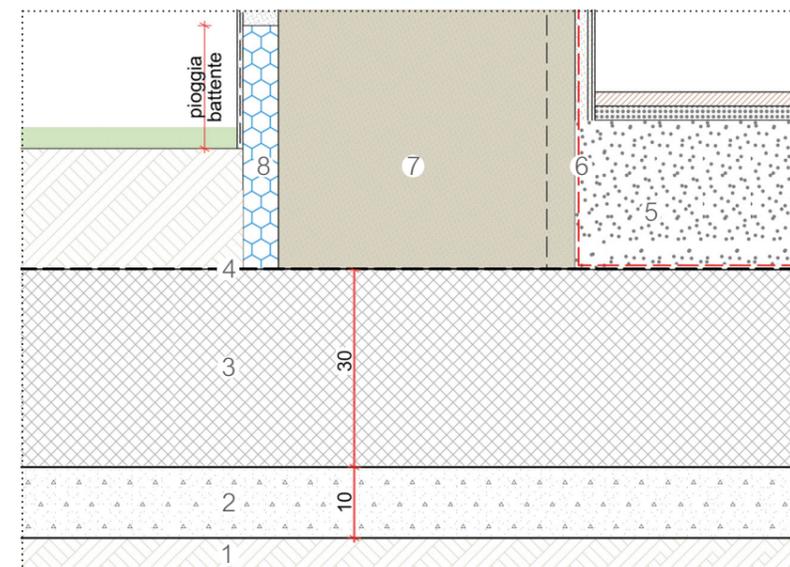


Figura 3.12 - Platea di fondazione con armatura (fonte: Credits Rice House)



Figura 3.13 - Armatura del pilastro in calcestruzzo (fonte: Credits Rice House)

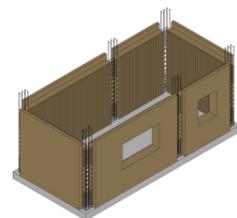


Figura 3.14 - Getto di calcestruzzo all'interno dei casseri per la platea di fondazione (fonte: Credits Rice House)



Figura 3.15 - Platea di fondazione con armatura e getto di calcestruzzo (fonte: Credits Rice House)

### 3.5 / FASE II



#### POSA DELLE PARETI RCW

La fase di posa delle pareti prefabbricate richiede condizioni atmosferiche favorevoli, con temperature superiori ai 5° C ed evitando situazioni di forte vento, neve o pioggia intensa. I lavori si sono svolti in due giorni, tra il 26 e 27 novembre. Prima della posa, è stato necessario tracciare con precisione le linee guida sulla platea di fondazione, indicando le linee perimetrali di collocazione delle pareti. Inoltre, la superficie è stata accuratamente pulita da detriti e polveri per facilitare la movimentazione e l'installazione degli elementi prefabbricati.

Le pareti, di spessore 42 cm e massa 250 kg/m, sono state trasportate in cantiere senza la necessità di imballaggi protettivi specifici, riducendo l'impatto ambientale e il peso complessivo del carico, permettendo il trasporto di quantità adeguate. Tuttavia, per prevenire danni durante la movimentazione è necessario evitare il contatto diretto tra gli elementi utilizzando distanziatori in legno, così da prevenire sfregamenti, graffi e altri danneggiamenti.

Per il trasporto e la movimentazione è stato impiegato un autocarro con gru incorporata, che ha permesso lo spostamento delle pareti e il loro posizionamento sopra la platea di fondazione. La posa è stata eseguita da personale specializzato, nel rispetto delle normative di sicurezza relative alla movimentazione di elementi prefabbricati in calcestruzzo o in legno. Per l'intera operazione sono stati coinvolti due operai per la posa delle pareti e un operatore addetto al braccio gru del camion. Durante la posa, alla base delle pareti è stata applicata una malta di allettamento, necessaria per garantire un perfetto appoggio alla fondazione e prevenire la formazione di aperture che potrebbero causare infiltrazioni d'acqua. A seguire, sono state eseguite le verifiche di allineamento e verticalità delle pareti mediante livella a bolla e laser. Per assicurare la stabilità delle pareti durante questa fase, sono stati installati puntelli di contrafforte, che hanno fornito un adeguato supporto alle sollecitazioni orizzontali fino alla completa stagionatura dei pilastri. L'installazione di questi elementi ha garantito la stabilità delle pareti durante la fase di posa, assicurando la sicurezza degli operatori e prevenendo eventuali ribaltamenti o disallineamenti degli elementi strutturali.

Figura 3.16 - Concept Fase II: Pareti prefabbricate poggiate sulla platea (fonte: rielaborazione dell'autore)

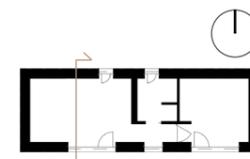


Figura 3.17 - Dettaglio tecnologico parete 1:10

- Legenda:
1. Finiture esterne RH210-RH220
  2. Intonaco di fondo
  3. Parete prefabbricata RCW
  4. Vuoto impiantistico
  5. Barriera al vapore
  6. Pannelli di chiusura RH700
  7. Finitura interna RH210
- (fonte: rielaborazione dell'autore)

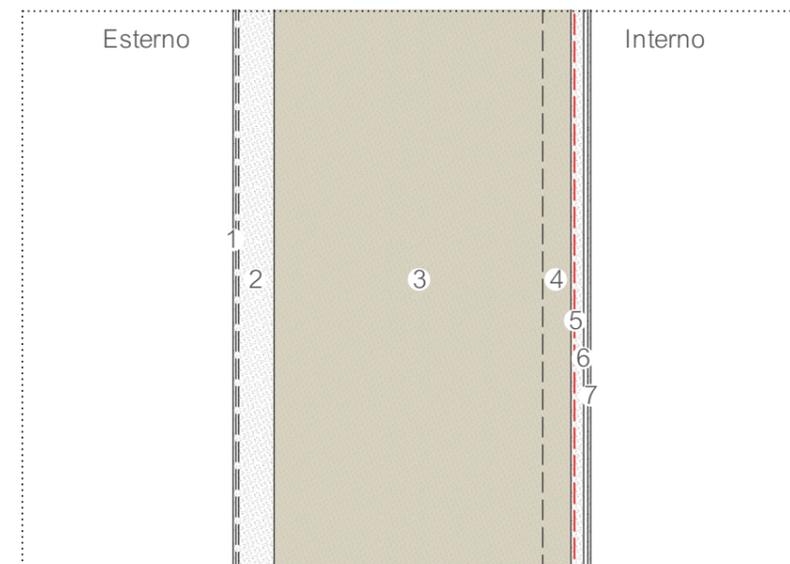


Figura 3.18 - Platea con casseri e traccature (fonte: foto dell'autore)



Figura 3.19 - Trasporto della parete RCW con braccio gru (fonte: foto dell'autore)

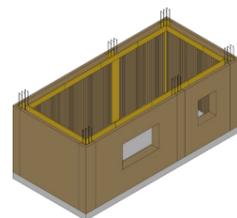


Figura 3.20 - Appoggio parete RCW con malta di allettamento (fonte: foto dell'autore)



Figura 3.21 - Pareti RCW con puntelli di contrafforte (fonte: foto dell'autore)

### 3.6 / FASE III



#### GETTO DEI PILASTRI

La formazione dei pilastri rappresenta una fase fondamentale per la struttura dell'edificio. In data 28 e 29 novembre si sono svolti i lavori per la realizzazione dei pilastri.

In corrispondenza dei pilastri, dove nelle fasi precedenti erano già state predisposte le armature, vengono posizionati degli elementi speciali che fungono da cassetteria a perdere, collegati alle pareti già esistenti. I casseri a perdere vengono realizzati con un tavolato in legno solidarizzato con la stessa miscela utilizzata per le pareti, consentendo così di correggere eventuali ponti termici.

A seguire, gli elementi speciali vengono fissati e legati saldamente all'armatura dei pilastri per garantire un'adeguata coesione tra i componenti strutturali. Una volta verificata la tenuta dei casseri, la continuità della superficie, la coesione con le pareti e completata l'installazione dei tirafondi, necessari per la connessione con il cordolo superiore, si procede con il getto del calcestruzzo all'interno dei casseri.

Per evitare la formazione di bolle d'aria e assicurare una perfetta adesione tra il calcestruzzo e l'armatura, viene eseguita la compattazione della miscela tramite vibratori ad ago, migliorando così la qualità e la resistenza del getto.

Durante la fase cantieristica è possibile notare il distacco di alcune parti della parete prefabbricata o dei casseri a perdere, questo è dovuto alla miscela di cui sono composte che allo stato secco risulta più friabile e delicata. Inoltre, esternamente si può notare un leggero distanziamento tra i casseri a perdere dei pilastri e la parete RCW. Tutti questi vuoti e imperfezioni verranno risolti con l'applicazione della stessa miscela, ciò permette il riempimento dei buchi e l'ottenimento di una superficie uniforme prima della rifinitura.

A seguito di questa fase in cantiere si è svolto un periodo di pausa di 3 giorni per dare il tempo necessario al calcestruzzo di asciugare e raggiungere la resistenza standard necessaria.

Figura 3.22 - Concept Fase III: Struttura con casseri a perdere e pilastri (fonte: rielaborazione dell'autore)



Figura 3.23 - Distacco di alcune parti della parete (Fonte: Fotografia dell'autore)



Figura 3.24 - Confronto parete interna RCW e pilastro in calcestruzzo armato (Fonte: Fotografia dell'autore)



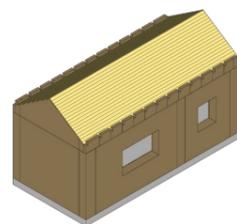
Figura 3.25 - Cassero a perdere del pilastro (Fonte: Fotografia dell'autore)



Figura 3.26 - Vuoto tra i casseri a perdere dei pilastri e le pareti RCW (Fonte: Fotografia dell'autore)

### 3.7 / FASE IV

## REALIZZAZIONE DELLA COPERTURA



Il montaggio della copertura in legno è stata eseguita in cinque giorni, tra il 2 e il 6 dicembre. I lavori sono iniziati con la predisposizione di due travi di banchina in legno, posizionate sui pilastri collocati all'interno delle pareti lunghe dell'edificio, e di una trave di mezzera, di dimensioni maggiori, collocata centralmente lungo l'asse longitudinale. Quest'ultima è sostenuta sia dai pilastri posizionati all'interno delle pareti minori sia da un pilastro centrale in legno.

Al di sopra delle travi principali sono state posizionate le travi secondarie in legno, la cui luce è stata riempita dall'isolante RH-P100<sup>1</sup>, completando così la struttura della copertura a doppia falda, che è stata successivamente rivestita con lamiera metallica.

Dal 6 al 31 gennaio si sono svolte le finiture della copertura e, grazie alle piccole dimensioni del progetto di cantiere, è stato necessario il solo contributo di un lattoniere.

La connessione tra la muratura e la copertura è stata risolta esternamente mediante l'uso di blocchi RH-B<sup>2</sup>, disposti nella luce delle travi di copertura, mentre internamente sono stati inseriti pannelli isolanti RH-P100. Questi ultimi elementi permettono di creare una continuità interna della superficie della parete, sigillando la parte superiore e garantendo così tenuta all'aria e correggendo i ponti termici.

1. L'RH-P100 è un pannello isolante rigido composto da fibre di paglia di riso (80%) unite tra loro da fibre termofusibili in poliestere (20%). Prodotto dall'azienda Rice House.

2. Il blocco RH-B è un blocco isolante prefabbricato composto da lolla di riso selezionata, paglia di riso e microsilicati. Prodotto dall'azienda Rice House.

Figura 3.26 - Concept Fase IV: Struttura con travi di copertura (fonte: rielaborazione dell'autore)



Figura 3.27 - Dettaglio tecnologico nodo parete e copertura 1:10

Legenda:

1. Manto di copertura in scandole metalliche
  2. Listello di ventilazione
  3. Vuoto ventilazione
  4. Membrana antipioggia
  5. Pannelli isolanti RH-P50
  6. Cordolo in mattoni RH-B (20x12)cm
  7. Trave passafuori
  8. Trave di banchina
  9. Controparete isolata RH-P100
- (fonte: rielaborazione dell'autore)

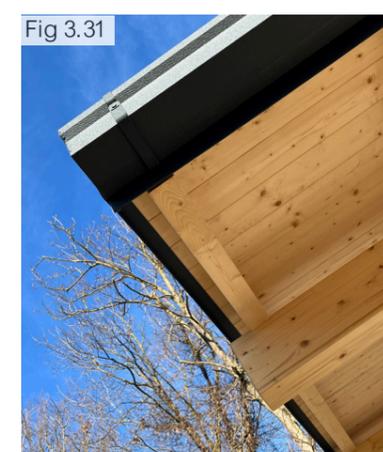
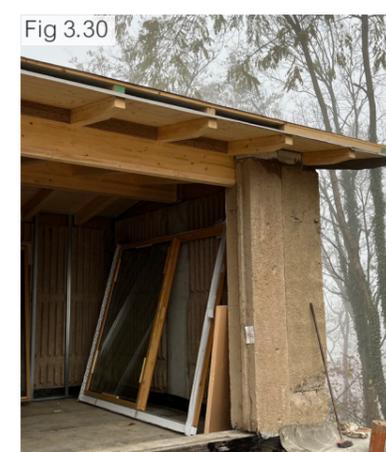
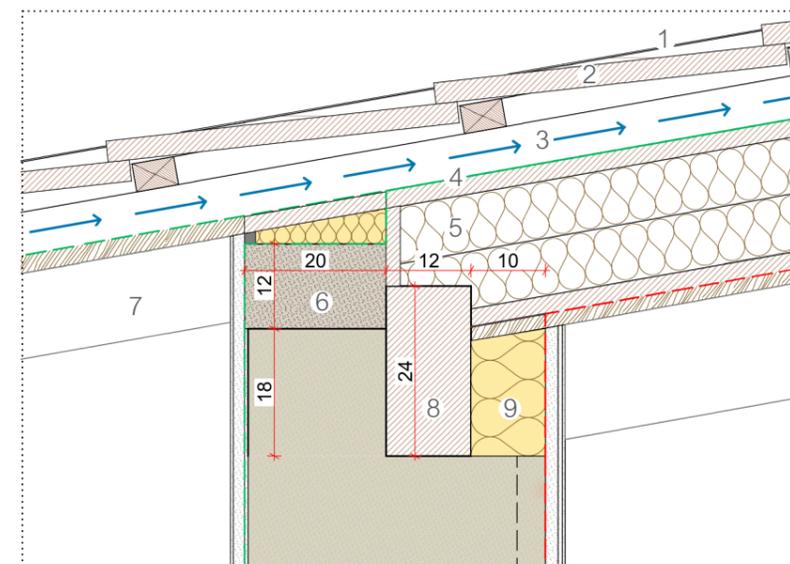


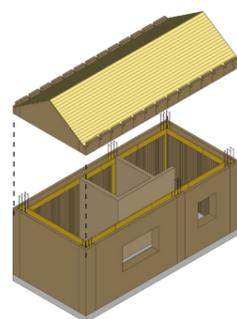
Figura 3.28 - Dettaglio tetto in legno con grondaia (fonte: foto dell'autore)

Figura 3.29 - Nodo parete RCW e copertura (fonte: foto dell'autore)

Figura 3.30 - Vista generale copertura in legno (fonte: foto dell'autore)

Figura 3.31 - Dettaglio angolo copertura in legno e acciaio (fonte: foto dell'autore)

## 3.8 / FASE V



### ESECUZIONE DELLE PARTIZIONI INTERNE

Nel periodo dal 10 al 11 gennaio sono stati realizzati i tramezzi interni. In una fase successiva, dal 18 al 24 gennaio, le pareti interne sono state rivestite con pannelli che svolgono una doppia funzione: chiudere le parti impiantistiche e fornire una superficie omogenea per le finiture.

Le tramezzi interni sono stati realizzati con una struttura di montanti verticali in acciaio, tra i quali è stato inserito l'isolante di riempimento RH-P50<sup>1</sup>. Il rivestimento di queste pareti è avvenuto tramite il fissaggio a secco di pannelli, RH700<sup>2</sup>, di 18 mm, in paglia pressata con un legante naturale derivato dalla canna da zucchero.

A seguire, è stato eseguito il rivestimento interno delle pareti prefabbricate RCW. Le superfici interne sono caratterizzate da costole con scanalature verticali e orizzontali, appositamente predisposte per l'alloggiamento degli impianti.

Il primo step è l'inserimento di montanti in acciaio di 4x4 cm disposti nel senso verticale alla parete, all'interno delle scanalature tra le costole. I montanti sono stati posizionati con un passo di 50 cm al fine di creare un adeguato posizionamento sia degli impianti sia dei pannelli. Il secondo step riguarda il posizionamento dei pannelli (RH-700) di dimensioni 60x120 cm, i quali sono stati collocati orizzontalmente, con giunti sfalsati di 30 cm e partendo dal basso verso l'alto. Infine, è necessario assicurare la planarità della posa della pannellatura, utilizzando livella a bolle da cantiere, stagge, squadre o misuratori laser.

Sono state quindi eseguite le verifiche della parete per garantire la sua completezza senza fessure o disallineamenti. L'intero sistema, completamente a secco, ha consentito l'ottimizzazione dei tempi di lavorazione, garantendo al contempo un'elevata efficienza costruttiva.

1. L'RH-P50 è un pannello isolante semi-rigido composto da fibre di paglia di riso (92%) unite tra loro da fibre termofusibili in poliestere (8%). Prodotto dall'azienda Rice House.

2. L'RH-700 è un pannello di chiusura per isolamento interno ed esterno, costituito da una miscela naturale a base di paglia di riso e legante naturale. Prodotto dall'azienda Rice House.

Figura 3.32 - Concept Fase VI: Struttura con tramezzi interni (fonte: rielaborazione dell'autore)



Figura 3.33 - Disposizione montanti in acciaio su parete (Fonte: Fotografia dell'autore)

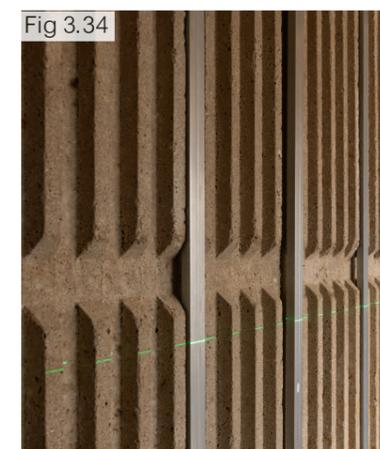


Figura 3.34 - Dettaglio incastro montanti in acciaio all'interno delle scanalature della parete RCW (Fonte: Fotografia dell'autore)

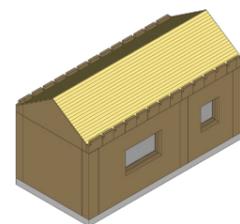


Figura 3.35 - Parete di tamponamento interna (Fonte: Fotografia dell'autore)



Figura 3.36 - Vista generale interna con montanti in acciaio e infissi (Fonte: Fotografia dell'autore)

### 3.9 / FASE VI



## POSIZIONAMENTO INFISSI

Il 13 dicembre, in una singola giornata, è stato eseguito il montaggio dei serramenti. Gli infissi installati sono realizzati in legno con doppio vetro e sono stati trasportati in cantiere mediante un camion, per poi essere posizionati all'interno delle aperture precedentemente prefabbricate.

Particolare attenzione è stata riservata alla progettazione dell'infisso a pavimento, che presenta un dettaglio costruttivo studiato per eliminare i ponti termici, sia nell'elemento sotto serramento che in quello esterno. Questo risultato è ottenuto grazie alla presenza del cordolo ytong nel sotto finestra e di una soglia ribassata in vetroresina di 7 cm, che contribuisce a migliorare le prestazioni energetiche dell'involucro. Dopo il posizionamento dell'infisso, lo spazio tra telaio e parete è stato sigillato con schiuma espansa lungo tutto il perimetro, al fine di garantire una chiusura completa e continua. Il nastro impermeabilizzante, già applicato in fabbrica sul telaio del serramento, è stato successivamente ripiegato al di sopra della schiuma espansa, sigillando definitivamente il perimetro finestrato.

Infine, sia internamente che esternamente, i lati perimetrali dell'infisso sono stati chiusi con materiale isolante, che verrà successivamente intonacato per garantire la continuità estetica e funzionale della finitura.

Figura 3.37 - Concept Fase VI: Struttura con serramenti (fonte: rielaborazione dell'autore)

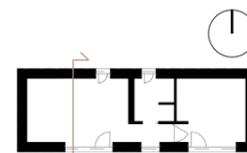


Figura 3.38 - Dettaglio tecnologico serramento 1:10

Legenda:

1. Isolante RH-P100
  2. Barriera al vapore
  3. Trave di banchina
  4. Cassonetto
  5. Isolante XPS
  6. Tolleranza (4cm)
  7. Telaio superiore
  8. Telaio inferiore
  9. Taglio termico compact foam
  10. Parquet in larice
  11. Massetto a secco
  12. Cordolo ytong
  13. Guaina bituminosa
- (fonte: rielaborazione dell'autore)

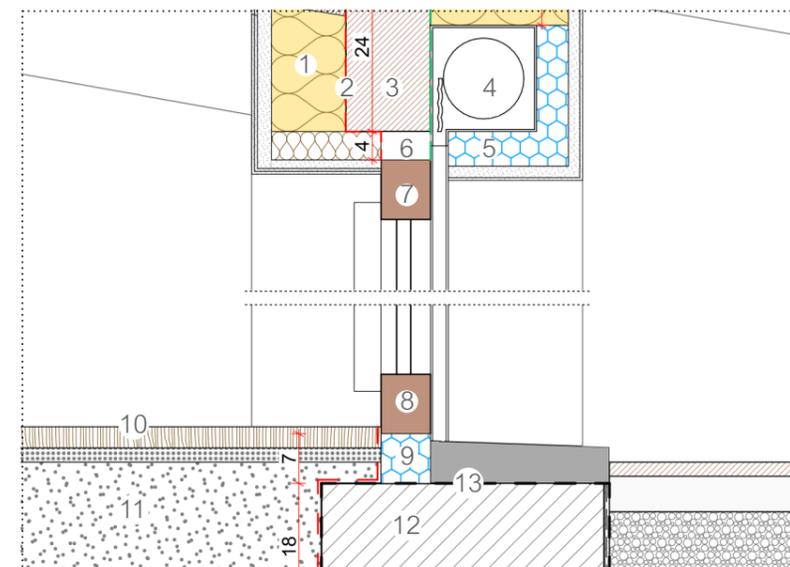


Figura 3.39 - Posizionamento infisso (fonte: Credits Rice House)

Figura 3.40 - Dettaglio incasso serramento (fonte: foto dell'autore)

Figura 3.41 - Dettaglio schiuma espansa tra serramento e parete (fonte: foto dell'autore)

Figura 3.42 - Serramento con nastro impermeabilizzante (fonte: foto dell'autore)

## ESECUZIONE DELLE FINITURE



Dal 25 al 29 gennaio si sono svolti i lavori per la realizzazione delle finiture interne. Il primo step eseguito è stato il lavaggio della superficie per la rimozione di sali o polveri attraverso l'utilizzo del nebulizzatore. Questo passaggio è importante al fine di garantire la presa graduale dell'intonaco evitando la "bruciatura" della malta, ovvero la condizione nella quale avviene un'eccessiva essiccazione che porta alla creazione di fessure o distacchi della materia. Il secondo step è la posa del primo strato rasante RH210, un intonachino naturale idrofobizzato a base di calce e pula di riso, questo è stato steso sulla superficie con uno spessore di 2-3 mm e a seguire è stata annegata la rete di rinforzo RH-GT155 ed è stata eseguita una seconda mano di rasante da 2 mm compattando e livellando la superficie fino ad ottenere uno spessore totale di 4-5 mm.

Infine vi è la stesura a due mani della finitura RH420, un intonachino di pregio a base di argilla, calce idraulica naturale e pula di riso, con una colorazione bianca viene applicato uno strato di circa 4 mm.

La superficie dell'intonachino può essere trattata diversamente in base alla tipologia di superficie che si vuole ottenere: ruvida, liscia o materica. Nel progetto in esame si è scelto di ottenere una superficie liscia attraverso l'utilizzo di spatole in acciaio per comprimere e levigare il piano.

Dal 10 al 20 febbraio sono state realizzate le finiture esterne, queste non sono state eseguite nell'immediato poiché necessitano l'attesa di un periodo più favorevole dal punto di vista climatico, per garantire condizioni ottimali di esecuzione. Il primo step è l'applicazione di uno strato di intonaco di fondo RH100, questo viene applicato direttamente sopra le pareti prefabbricate RCW con uno spessore di circa 1.5 cm. A seguire, all'interno dell'intonaco, viene annegata la rete di rinforzo RH-GT155 ricoperta da uno strato rasante, RH210, con uno spessore di circa 2-3 mm, per garantire uniformità e resistenza. L'ultimo step prevede l'applicazione in due mani dell'intonaco di finitura RH220, con spessore complessivo di 4 mm. Si tratta di un arenino naturale colorato a base di calce, pula di riso e un materiale idrofobizzato, particolarmente adatto per proteggere le superfici esterne dall'esposizione agli agenti atmosferici.

Figura 3.43 - Concept Fase VI: Struttura con finiture  
(fonte: rielaborazione dell'autore)



Figura 3.44 - Dettaglio finiture interne parete-copertura  
(Fonte: Fotografia dell'autore)



Figura 3.45 - Finiture interne pareti camera  
(Fonte: Fotografia dell'autore)

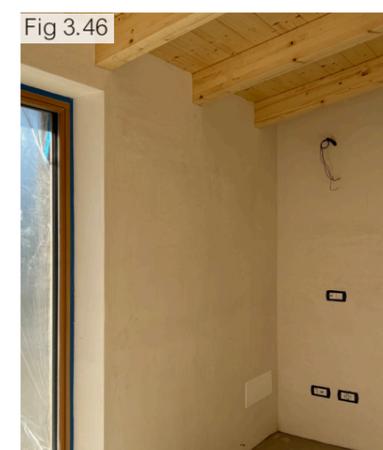


Figura 3.46 - Finiture interne pareti open space  
(Fonte: Fotografia dell'autore)

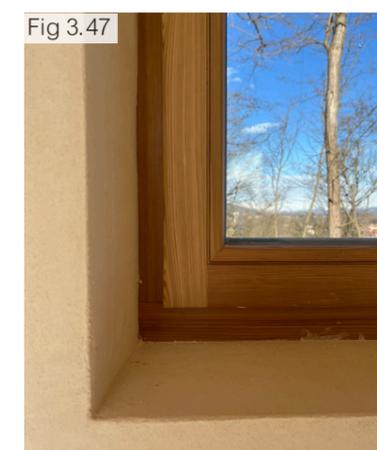
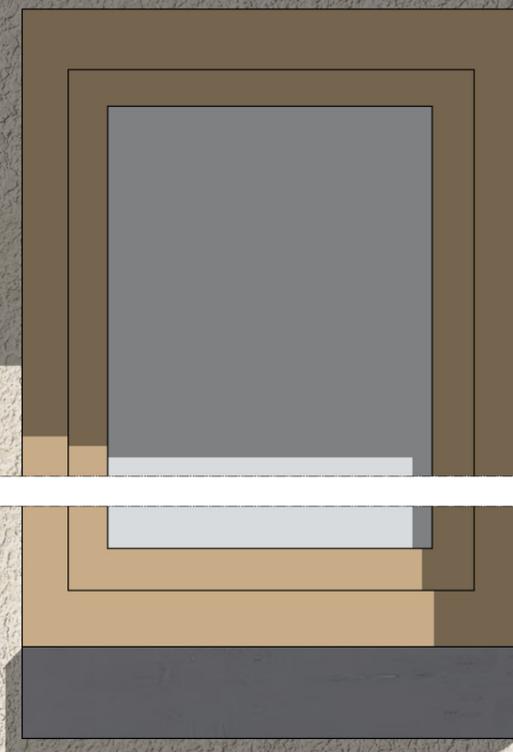
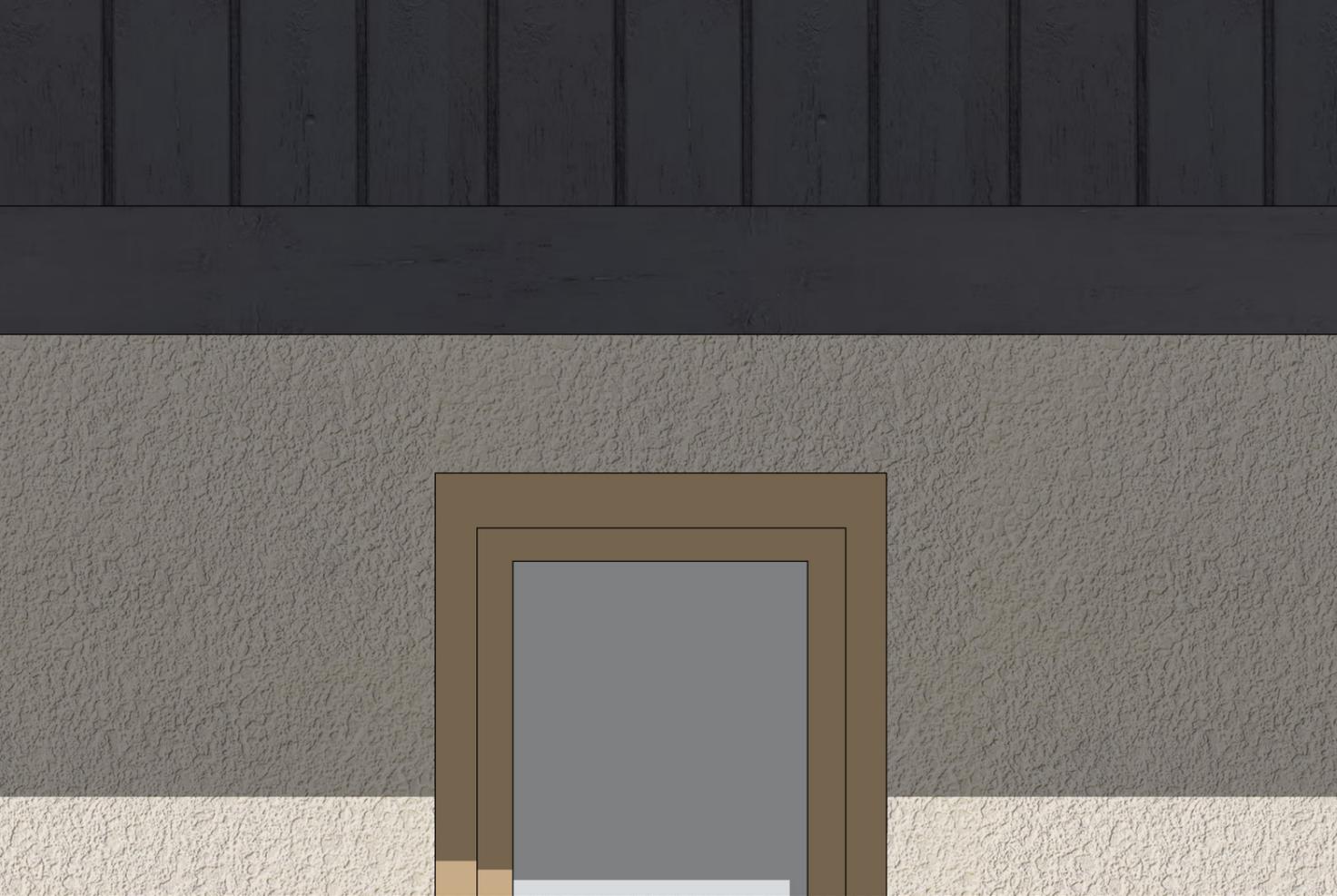


Figura 3.47 - Dettaglio finiture interne davanzale infisso  
(Fonte: Fotografia dell'autore)



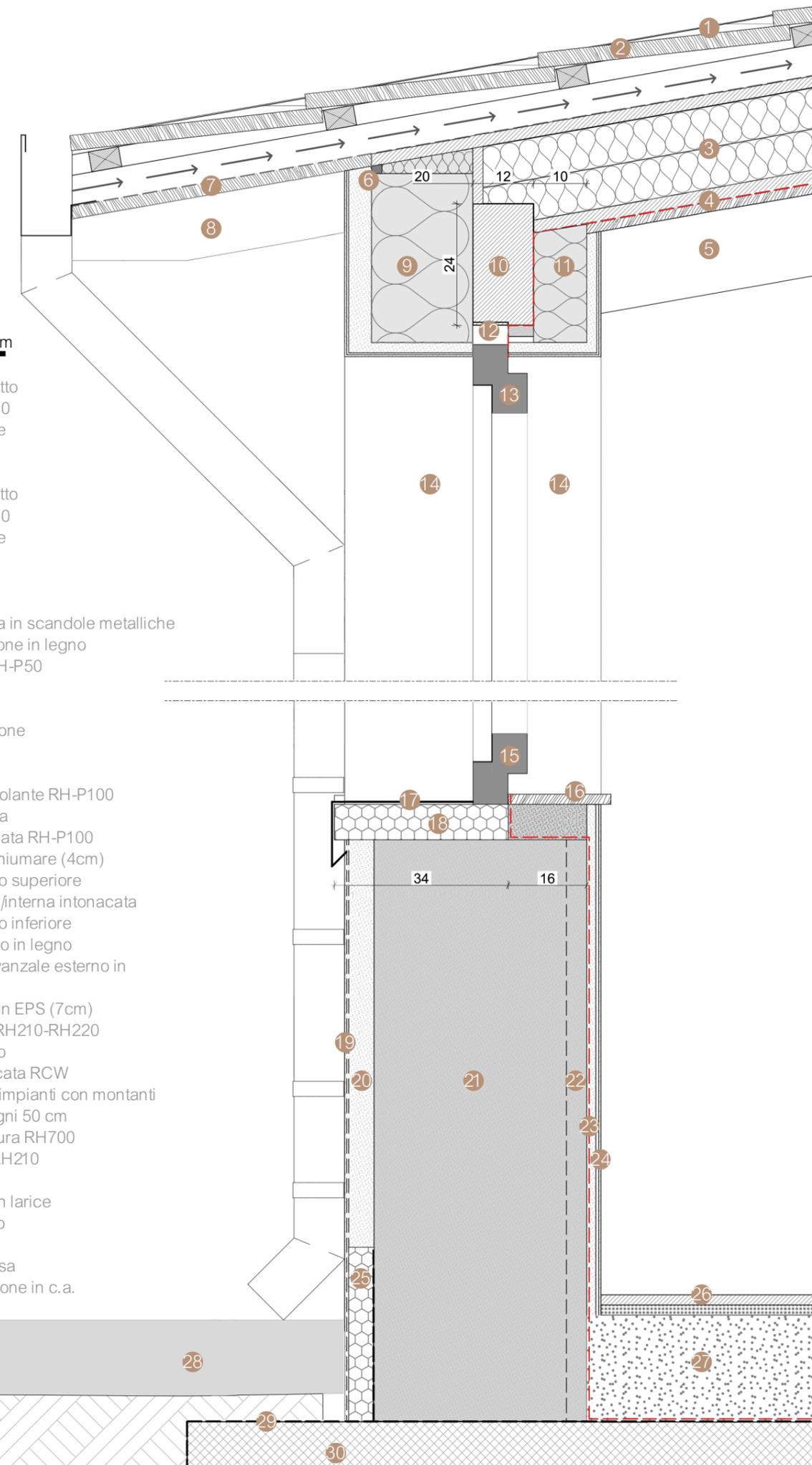
0 10 30cm

Figura 3.48 - Prospetto Casa LH in scala 1:10 (fonte: rielaborazione dell'autore)

Figura 3.48 - Prospetto Casa LH in scala 1:10 (fonte: rielaborazione dell'autore)

Legenda:

1. Manto di copertura in scandole metalliche
2. Listelli di ventilazione in legno
3. Pannelli isolanti RH-P50
4. Barriera al vapore
5. Trave principale
6. Nastro di guarnizione
7. Tavolato in legno
8. Passafuori
9. Tamponamento isolante RH-P100
10. Trave di banchina
11. Controparete isolata RH-P100
12. Tolleranza da schiumare (4cm)
13. Telaio serramento superiore
14. Spalletta esterna/interna intonacata
15. Telaio serramento inferiore
16. Davanzale interno in legno
17. Rivestimento davanzale esterno in lattoniera
18. Davanzale L740 in EPS (7cm)
19. Finitura esterna RH210-RH220
20. Intonaco di fondo
21. Parete prefabbricata RCW
22. Scanalature per impianti con montanti verticali in acciaio ogni 50 cm
23. Pannelli di chiusura RH700
24. Finitura interna RH210
25. Zoccolo in XPS
26. Parquet interno in larice
27. Massetto a secco
28. Terreno esterno
29. Guaina bituminosa
30. Platea di fondazione in c.a.



### 3.11 / CONSIDERAZIONI

L'osservazione diretta del cantiere di Casa LH ha permesso di analizzare da vicino le dinamiche operative di un intervento edilizio che integra sistemi prefabbricati innovativi e materiali bio-based. L'esperienza ha offerto spunti rilevanti sia dal punto di vista tecnico che ambientale, evidenziando le differenze rispetto all'organizzazione di un cantiere tradizionale.

L'impiego di un sistema prefabbricato ha inciso in modo significativo sulla gestione complessiva delle fasi di lavoro. In particolare, la presenza di pareti opache già realizzate in stabilimento ha permesso di ridurre i tempi di costruzione dell'involucro, contenere la quantità di materiali di scarto e ottimizzare il numero di operai necessari, con conseguente riduzione dei costi e dell'impatto ambientale.

L'organizzazione del cantiere è risultata efficiente e lineare, sono stati impiegati pochi mezzi di trasporto, tra cui una betoniera e una pompa autocarrata per gli elementi in calcestruzzo, un autocarro con gru per il trasporto e la posa delle pareti prefabbricate, e un camion per l'approvvigionamento di altri materiali (isolanti, serramenti, ecc.). Lo spazio richiesto per la movimentazione dei mezzi è stato minimo, sia per la ridotta scala dell'intervento (superficie calpestabile 40,55 m<sup>2</sup>) sia per l'utilizzo di elementi prefabbricati che generano ridotti scarti e non necessitano di grandi spazi per il loro stoccaggio.

Le pareti prefabbricate sono state posate direttamente in opera al momento della consegna, mentre i serramenti sono stati depositati temporaneamente all'interno del progetto in attesa della loro installazione. Solo pochi materiali, come i montanti in acciaio per le partizioni interne, gli isolanti RH-P50 e RH-P100 per copertura e nodo parete-tetto, e alcuni elementi residuali provenienti da fasi iniziali (scarti della demolizione precedente, assi di legno del cassero della platea, puntelli di contrafforte, ponteggi in acciaio per la copertura e legno vario), sono stati temporaneamente stoccati in una piccola area adiacente.

Il cantiere ha coinvolto un numero contenuto di operatori, pari a dieci nel totale: 3 per la fase di getto e posa delle pareti, 2 decoratori, 1 elettricista, 1 idraulico, 1 lattoniere, 1 falegname e 1 posatore di pavimenti. La durata complessiva del cantiere è stata di circa 4 mesi, dal 14 novembre al 20 febbraio, considerando le pause dovute alle festività e i tempi tecnici di stagionatura e asciugatura dei materiali. In termini effettivi, sono stati necessari circa 70 giorni di lavoro attivo.

L'adozione del sistema prefabbricato ha reso possibile trasformare

un processo solitamente frammentato e distribuito su più settimane in una fase compatta ad alta intensità organizzativa, dove la presenza di manodopera specializzata è concentrata in un periodo limitato. Infine, l'ambiente di lavoro risulta generalmente più pulito e ordinato, con minori scarti in loco e una permanenza operativa più breve, che contribuisce anche a ridurre l'impatto ambientale complessivo del cantiere.

# IV CAPITOLO

· ANALISI COMPARATIVA  
· DEI SISTEMI COSTRUT-  
· TIVI E VALUTAZIONE  
· AMBIENTALE LCA



Figura 4.01 - Casa LH durante le operazioni di progetto in cantiere  
Fonte: Credits Rice House srl

## DECARBONIZZAZIONE: CONFRONTO TRA LE EMISSIONI DI GAS CLIMALTERANTI DI DUE SISTEMI COSTRUTTIVI

/ 4

Dopo aver osservato l'applicazione concreta del sistema costruttivo prefabbricato RCW all'interno del cantiere "Casa LH" a Novara, questo capitolo amplia la prospettiva, inserendo il sistema all'interno di un confronto quantitativo e metodologico più ampio. L'esperienza diretta in cantiere ha evidenziato il potenziale applicativo del sistema RCW, si intende quindi valutare quanto tali prestazioni possano tradursi in un'effettiva riduzione dell'impatto climatico incorporato.

Il presente capitolo affronta il tema della decarbonizzazione nel settore edilizio, per poi introdurre i principi della Life Cycle Assessment (LCA) e della Whole Life Carbon (WLC), strumenti fondamentali per misurare e confrontare le emissioni associate ai materiali da costruzione. In questo quadro si inserisce un'analisi comparativa tra due sistemi prefabbricati di tamponamento verticale: Klimasismico, sistema precursore del RCW, basato su materiali convenzionali come EPS, cemento Portland e cartongesso, e RiceCyclingWall, fondato sull'impiego di biomasse agricole secondarie.

L'analisi prende avvio dalla ricostruzione stratigrafica di un metro quadro dei due sistemi, approfondendo l'origine e la natura dei materiali impiegati, per arrivare a una valutazione comparativa dei rispettivi valori di Global Warming Potential (GWP) riferiti alla sola fase di produzione (A1-A3). Il confronto evidenzia il ruolo strategico che i materiali vegetali a filiera corta possono assumere nel processo di transizione ecologica del settore edilizio. I risultati emersi costituiranno infine un utile punto di partenza per introdurre, nel capitolo successivo, scenari futuri di diffusione territoriale e di diversificazione delle biomasse impiegabili in edilizia.

## 4.1 / CONTESTO GLOBALE DELLA DECARBONIZZAZIONE

Negli ultimi decenni, la comunità internazionale ha riconosciuto con crescente urgenza la necessità di ridurre le emissioni di gas serra per contenere il riscaldamento globale. Il tema della decarbonizzazione è oggi centrale anche nel settore edilizio. La riduzione delle emissioni di gas climalteranti e il passaggio verso un modello economico più sostenibile e rispettoso degli ecosistemi sono al centro delle agende politiche internazionali.

A partire dal protocollo di Kyoto (1997)<sup>1</sup>, stabilito durante la terza Conferenza delle Parti (Conference of Parties 3 - COP3) e, soprattutto, con l'Accordo di Parigi (2015)<sup>2</sup>, stabilito durante la COP21, gli Stati membri delle Nazioni Unite si sono impegnati a mantenere l'aumento della temperatura media globale ben al di sotto dei 2 °C rispetto ai livelli preindustriali, puntando a limitarlo a 1,5 °C. Questo obiettivo si inserisce all'interno del più ampio quadro dell'Agenda 2030 per lo sviluppo sostenibile delle Nazioni Unite (UN)<sup>3</sup> del 2015 e ha trovato attuazione in una serie di strumenti e strategie coordinati dall'UNFCCC e supportati da iniziative come la Global Alliance for Buildings and Construction (GlobalABC). Quest'ultima, promossa dal Programma delle Nazioni Unite per l'Ambiente (UNEP), nasce con lo scopo di guidare la decarbonizzazione del settore delle costruzioni, che da solo contribuisce a oltre un terzo delle emissioni globali.<sup>4</sup>

In questo scenario si inserisce la rete dei Green Building Council, coordinata a livello globale dal World GBC (World Green Building Council).

1. United Nations, *Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change*, 1997. Il Protocollo di Kyoto è un trattato internazionale in materia ambientale riguardante il surriscaldamento globale, pubblicato l'11 dicembre 1997 nella città giapponese di Kyoto in occasione della Conferenza delle parti "COP 3" della Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici (UNFCCC).

2. United Nations, *Paris Agreement*, 2015. L'accordo di Parigi è un trattato internazionale stipulato tra gli Stati membri della Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici (UNFCCC), riguardo alla riduzione di emissione di gas serra e alla finanza, raggiunto il 12 dicembre 2015 e riguardante il periodo a decorrere dal 2020.

3. United Nations, *Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development*, 70/1, 25 settembre 2015.

4. A. Peluchetti, et al., Soluzioni tecnologiche per la decarbonizzazione delle emissioni operative degli edifici, Allegato alla Roadmap Italiana, GBC Italia, 2022, pp. 10-11.

Il World GBC è la più ampia organizzazione internazionale che promuove la transizione verso un'edilizia sostenibile in oltre 74 Paesi. Secondo il report annuale, del 2023-2024, della World GBC l'ambiente costruito è responsabile del 40% delle emissioni di CO<sub>2</sub> legate all'energia e ai processi produttivi, consuma quasi il 50% delle materie prime mondiali e genera 12 tonnellate di rifiuti pro capite ogni anno.<sup>5</sup> In Italia, tale missione è portata avanti dal Green Building Council Italia (GBC Italia), che adatta strategie globali al contesto nazionale, promuovendo l'uso di materiali naturali e approcci costruttivi a basso impatto ambientale.<sup>6</sup>

A livello europeo, una delle prime strategie significative per la transizione energetica è stata la "strategia 20-20-20" del 2007, che fissava tre obiettivi chiave da raggiungere entro il 2020: una riduzione del 20% delle emissioni di gas serra, un risparmio energetico del 20% e un incremento del 20% della quota di energie rinnovabili.<sup>7</sup> In seguito, il Clean Energy Package<sup>8</sup> del 2016 ha introdotto un insieme di direttive per regolare il mercato energetico europeo in linea con gli obiettivi climatici. Tra queste, la Direttiva 2018/844/UE ha rivisto la EPBD (Energy Performance of Buildings Directive)<sup>9</sup>, assumendo un ruolo centrale nel processo di decarbonizzazione del patrimonio edilizio. La direttiva mira a promuovere interventi economicamente efficienti per la riqualificazione degli edifici esistenti, fissando requisiti minimi di prestazione energetica per nuove costruzioni, ristrutturazioni importanti e aggiornamenti degli elementi edilizi, con l'obiettivo di raggiungere un parco immobiliare a emissioni quasi zero entro il 2050.<sup>10</sup>

A partire da questa revisione la EPBD ha introdotto per la prima volta il concetto di Whole Life Carbon (WLC), con l'intenzione di ampliare il campo di applicazione del concetto di decarbonizzazione al fine di associarlo non solo alla fase operativa del manufatto ma al suo intero ciclo di vita.<sup>11</sup>

5. World Green Building Council, *WorldGBC Annual Report 2023-2024*, WorldGBC, 2025, p. 5

6. V. Marino, et al., La finanza privata e pubblica per la decarbonizzazione del settore edilizio. Allegato alla Roadmap Italiana, GBC Italia, 2022, p.9

7. A. Peluchetti, et al., op. cit., p.11.

8. Commissione Europea, *Clean Energy for All Europeans Package*, Bruxelles, 2016.

9. Parlamento Europeo e Consiglio dell'Unione Europea, *Direttiva (UE) 2018/844 del Parlamento europeo e del Consiglio del 30 maggio 2018, che modifica la direttiva 2010/31/UE sulla prestazione energetica nell'edilizia e la direttiva 2012/27/UE sull'efficienza energetica*, in Gazzetta ufficiale dell'Unione europea, L 156/75, 19 giugno 2018.

10. A. Peluchetti, et al., op. cit., pp. 12-13.

11. S. Iacovacci, Whole Life Carbon. Roadmap per la decarbonizzazione: applicazione della metodologia Whole Life Carbon e sue prospettive di sviluppo, Tesi di Laurea, Politecnico di Torino, 2023-2024, p. 31.

Una tappa fondamentale è stata il Green Deal europeo del 2019, che ha definito la cornice politica per una transizione climatica ed energetica equa e inclusiva, cui ha fatto seguito il pacchetto legislativo "Fit for 55"<sup>12</sup>, rendendo ancora più stringenti gli obiettivi di riduzione delle emissioni. Con l'adozione della Legge Europea sul Clima (UE/2021/1119), l'Unione Europea ha stabilito la neutralità climatica entro il 2050 e una riduzione delle emissioni nette almeno del 55% entro il 2030 rispetto ai livelli del 1990.<sup>13</sup>

In questo contesto, la decarbonizzazione del parco edilizio si estende oltre i consumi energetici in fase d'uso, coinvolgendo l'intera filiera edilizia, dalla selezione dei materiali alla logistica di cantiere, fino alle fasi di costruzione, manutenzione e fine vita degli edifici.<sup>14</sup>

Anche l'Italia ha integrato gli obiettivi europei all'interno del Piano Nazionale Integrato Energia e Clima (PNIEC), successivamente aggiornato con la Strategia italiana di lungo termine per la riduzione delle emissioni di gas serra, pubblicata nel 2021 e con proiezioni al 2050.

La strategia si articola su tre direttrici principali:

- Una riduzione di almeno il 40% della domanda di energia, in particolare nei settori della mobilità privata e del civile;
- Un cambiamento del mix energetico a favore delle rinnovabili (fino all'85-90% dei consumi finali), attraverso l'elettrificazione degli usi finali (50%) e la produzione di idrogeno;
- Un aumento della capacità di assorbimento di CO<sub>2</sub> tramite interventi su foreste, verde urbano e ripristino delle superfici degradate.<sup>15</sup>

In questo scenario si inserisce anche il lavoro del GBC Italia, che ha elaborato una roadmap nazionale per la decarbonizzazione del settore edilizio al 2050, sviluppata nell'ambito del progetto europeo #BuildingLife, promosso dalla rete europea del World Green Building Council. Il piano propone una tabella di marcia composta da 53 obiettivi, suddivisi in tre aree d'azione prioritarie: la decarbonizzazione degli edifici, la circolarità nel settore delle costruzioni e la qualità e resilienza delle città.<sup>16</sup>

---

12. Commissione Europea, *Fit for 55: Delivering the EU's 2030 Climate Target on the Way to Climate Neutrality*, COM(2021) 550 final, Bruxelles, 14 luglio 2021

13. V. Marino, et al., *Il contesto energetico nazionale: normativa, piani e scenari di decarbonizzazione*, GBC Italia, 2022, p. 3.

14. A. Peluchetti, et al., op. cit., p.13.

15. V. Marino, et al., *Il contesto energetico nazionale: normativa, piani e scenari di decarbonizzazione*, GBC Italia, 2022, p. 13.

16. V. Marino, M. Ciaffi, *Decarbonizzare il ciclo di vita dell'ambiente costruito. Roadmap italiana per raggiungere gli obiettivi climatici al 2050*, GBC Italia, 2022, pp. 8-9.

Un altro attore di rilievo è Italy for Climate (I4C) che, nell'edizione aggiornata al 2024 di "10 Key Trend sul clima in Italia", presenta dati recenti che evidenziano la criticità del settore edilizio, responsabile di oltre un terzo delle emissioni di gas serra a livello nazionale. Il rapporto segnala una crescita nei consumi energetici (+0,9 Mtep), dovuta in parte a un inverno più rigido del normale. Nonostante una riduzione delle emissioni di gas serra dell'11% rispetto ai livelli del 1990, il settore edilizio continua a presentare emissioni elevate, a causa dell'elevato numero di edifici energivori e dell'uso ancora diffuso di fonti fossili per il riscaldamento, in particolare il gas naturale.<sup>17</sup>

Questi dati confermano come la decarbonizzazione degli edifici rappresenti una delle sfide più urgenti e strategiche per il raggiungimento degli obiettivi climatici nazionali ed europei. In questo contesto, l'adozione di tecnologie edilizie innovative e di materiali a ridotto impatto ambientale si configura come una leva fondamentale per contribuire alla transizione ecologica del settore edilizio, sia a livello nazionale che globale.

A supporto di questo obiettivo, sono state sviluppate specifiche metodologie di calcolo e certificazioni in grado di valutare l'impatto ambientale dei materiali da costruzione. Tra queste, il Life Cycle Assessment (LCA) rappresenta lo strumento di riferimento per analizzare, in modo oggettivo e comparabile, gli impatti ambientali associati all'intero ciclo di vita di un prodotto, dalla produzione fino allo smaltimento.<sup>18</sup>

---

17. E. Ronchi, et al., *10 key tendenze sul clima in Italia. La pagella del 2024 su clima ed energia*, Italy for climate (I4C), 2024.

18. A. Peluchetti, et al., *Soluzioni tecnologiche per la decarbonizzazione delle emissioni operative degli edifici: Allegato alla Roadmap Italiana*, GBC Italia, 2022, p. 77.



cessi costruttivi (Embodied Carbon).<sup>9</sup>

Oltre alla valutazione WLC, è importante considerare anche i benefici o gli impatti ambientali potenziali "oltre il ciclo di vita" dell'edificio, corrispondenti al modulo D. Questo tipo di analisi si collega al concetto di Circular Economy (CE), che mira a quantificare il grado di circolarità del manufatto al termine del suo utilizzo, valutando scenari di recupero, riuso o riciclo dei materiali impiegati.<sup>10</sup> Negli ultimi anni, l'approccio del Life Cycle Thinking (approccio al ciclo di vita) è stato progressivamente integrato all'interno delle politiche ambientali europee. In particolare, nel 2014, la Commissione Europea ha pubblicato la Comunicazione COM/2014/445 final<sup>11</sup>, che promuove l'efficienza delle risorse in edilizia. Da questo documento ha preso forma il framework LEVEL(s), che rappresenta lo strumento europeo di riferimento per la valutazione delle prestazioni ambientali degli edifici lungo il loro ciclo di vita, integrando la metodologia LCA con i principi dell'economia circolare.<sup>12</sup>

I dati ambientali necessari per la modellazione LCA provengono da banche dati specializzate, che si distinguono per accessibilità, livello di dettaglio, confini geografici e copertura temporale. Alcune banche dati, come Ökobau.dat (2023), sono accessibili gratuitamente, mentre altre richiedono una licenza. I dati possono essere generici (basati su medie industriali) oppure specifici per prodotto, come quelli contenuti nelle dichiarazioni ambientali di prodotto (EPD).<sup>13</sup> A seconda dell'obiettivo dello studio, può essere preferibile ricorrere a EPD ufficiali per prodotti reali o a database generici per valutazioni comparative in fase di progetto.

Tra gli indicatori ambientali utilizzati nell'LCA, il Global Warming Potential (GWP), espresso in chilogrammi di CO<sub>2</sub> equivalente (kg CO<sub>2</sub>eq), consente di valutare l'incidenza delle emissioni dei materiali e prodotti, o del manufatto edilizio, sul cambiamento climatico. Esso rappresenta la quantità di gas serra emessi lungo il ciclo di vita del prodotto e il loro contributo al riscaldamento globale, su un orizzonte temporale di 100 anni (GWP100).<sup>14</sup>

---

9. J. Andreotti, R. Giordano, Strumenti per la decarbonizzazione. Valutazione della Whole Life Carbon (WLC) e della Circular Economy (CE) di un manufatto edilizio, 2024, p. 8.

10. J. Andreotti, R. Giordano, Strumenti per la decarbonizzazione. Valutazione della Whole Life Carbon (WLC) e della Circular Economy (CE) di un manufatto edilizio, 2024, p. 11.

11. Commissione Europe, Verso un'economia circolare: un programma "zero rifiuti" per l'Europa (COM(2014) 445 final), 2016.

12. M. Lavagna, et. al., Life Cycle Assessment in edilizia, GBC Italia, 2019, p. 7; p.10.

13. Ivi, pp. 13-14.

14. J. Andreotti, R. Giordano, op. cit., p. 22.

La metodologia LCA si rivela dunque uno strumento strategico per la progettazione ambientale consapevole, utile per identificare le fasi critiche, confrontare scenari alternativi (materiali, fonti energetiche, soluzioni tecniche) e supportare decisioni orientate alla riduzione dell'impatto ambientale complessivo.<sup>15</sup>

In questa tesi, si è scelto di applicare uno studio LCA semplificato, considerando esclusivamente la fase di Produzione (A1-A3) per la sola categoria di impatto GWP. La valutazione semplificata, seguendo le linee guida del documento Strumenti per la Decarbonizzazione di J. Andreotti e R. Giordano<sup>16</sup>, è qui intesa come uno strumento per il confronto tra due soluzioni tecnologiche sviluppate da Sarotto Group. Di seguito, si illustrano le stratigrafie, le caratteristiche e le composizioni delle due soluzioni oggetto di indagine.

---

15. M. Lavagna, et. al., op. cit., p. 8.

16. J. Andreotti, R. Giordano, Strumenti per la decarbonizzazione. Valutazione della Whole Life Carbon (WLC) e della Circular Economy (CE) di un manufatto edilizio, 2024.

Per comprendere l'influenza che i materiali bio-based esercitano all'interno di una tecnologia costruttiva prefabbricata, si è scelto di analizzare e confrontare due sistemi opachi di tamponamento: il Klimasismico, brevettato da Sarotto Group nel 2012, e il RiceCyclingWall (RCW), esito della collaborazione con Ricehouse e prodotto da Sarotto Group a partire dal 2024.

Entrambi i sistemi sono realizzati in stabilimento e successivamente posati in cantiere, in abbinamento a una struttura portante a telaio in cemento armato. Le pareti prefabbricate sono i primi elementi ad essere posati in sito; cui fa seguito il getto dei pilastri in opera in calcestruzzo armato, dentro ad appositi casseri a perdere. Oltre a condividere le modalità esecutive e alcune caratteristiche funzionali — come la presenza di scanalature grecate sulla superficie interna dell'elemento prefabbricato per l'alloggiamento degli impianti — i due sistemi si distinguono principalmente per la composizione materica e l'impostazione tecnologica.

Il sistema Klimasismico adotta un sistema stratificato con l'elemento S32 Modul5, costituito da una doppia lastra: quella interna realizzata in calcestruzzo naturale Prompt di Vicat, e quella esterna composta da una miscela a base di cemento Portland, fibre polimeriche strutturali e granuli in EPS (polistirene espanso). Tra le due lastre è interposto uno strato isolante in EPS.<sup>1</sup>

Il sistema RiceCyclingWall è invece composto da un blocco monolitico prefabbricato, realizzato con una miscela naturale a base di lolla di riso, cemento naturale Prompt, acqua e schiuma espansa.<sup>2</sup>

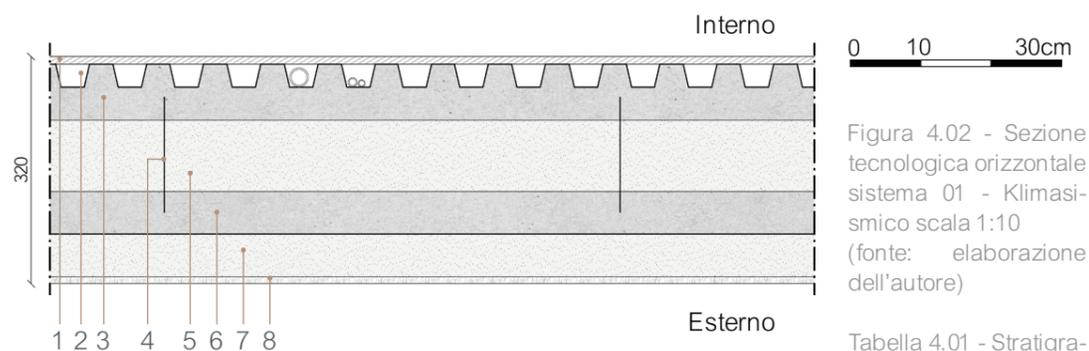
Nel paragrafo seguente si analizzano nel dettaglio le stratigrafie dei due sistemi, mettendone in evidenza spessori, densità, trasmittanza e capacità di accumulo termico. Il confronto mira a comprendere come la diversa natura dei materiali e la logica costruttiva influenzino le prestazioni dell'involucro edilizio e costituisce la base per la successiva valutazione ambientale condotta tramite analisi del ciclo di vita (LCA).

1. A. Evangelisti, Approcci LCC (Life Cycle Costing) e LCA (Life Cycle Assessment) congiunti per la valutazione economico-ambientale di soluzioni tecnologiche alternative, Tesi di Laurea, Politecnico di Torino, 2019-2020, pp. 108-109.

2. Ricehouse, Manuale di posa: Sistema prefabbricato in pareti monolitiche lolla e legante idraulico naturale. RiceCyclingWall, Ricehouse srl SB, ultimo aggiornamento novembre 2024, p. 3.

#### 4.3.1 / STRATIGRAFIA SISTEMA 01 - KLIMASISMICO

Di seguito si riporta la stratigrafia e le caratteristiche tecniche del sistema 01 - Klimasismico.



1. Finitura interna - pannello in cartongesso
2. Vuoto impiantistico
3. Lastra interna "S32 modul5"
4. Monotraliccio in acciaio zincato
5. Strato coibente in EPS
6. Lastra esterno "S32 modul5"
7. Strato coibente in EPS
8. Intonaco esterno fibro rinforzato

Figura 4.02 - Sezione tecnologica orizzontale sistema 01 - Klimasismico scala 1:10 (fonte: elaborazione dell'autore)

Tabella 4.01 - Stratigrafia del sistema prefabbricato 01 con caratteristiche tecniche (fonte: elaborazione dell'autore)  
\* Valori di conducibilità termica stimati sulla base di dati da normativa e letteratura tecnica di settore

Elemento	Materiale	Spessore	Conducibilità termica	Resistenza termica	Densità
		m	W/mK	m²K/W	Kg/m³
Finitura faccia interna	cartongesso	0.012	0.21*	0.057*	760
Lastra interna S32 modul5	miscela cls Prompt	0.08	0.72*	0.111*	1500
Strato coibente	EPS, polistirene espanso	0.18	0.04*	5.000*	20
Lastra esterna S32 modul5	Miscela di cemento Portland	0.06	1.4*	0.043*	1500
Isolante termico	EPS, polistirene espanso	0.06	0.04*	1.667*	20
Rivestimento esterno	Intonaco fibrorinforzato	0.02	0.85*	0.018*	1400
		<b>0.412</b>			

#### STRATIGRAFIA SISTEMA 02 - RCW

/ 4.3.2

Di seguito si riporta la stratigrafia e le caratteristiche tecniche del sistema 02 - RiceCyclingWall.

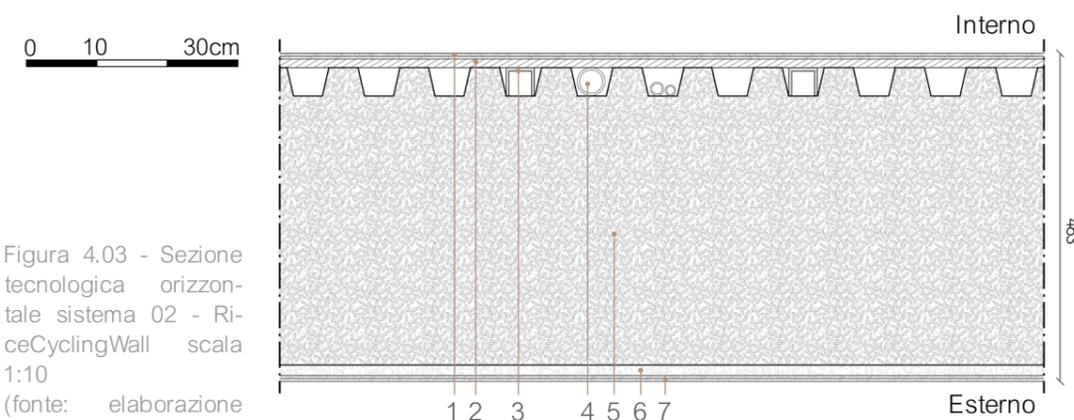


Figura 4.03 - Sezione tecnologica orizzontale sistema 02 - RiceCyclingWall scala 1:10 (fonte: elaborazione dell'autore)

Tabella 4.02 - Stratigrafia del sistema prefabbricato 02 con caratteristiche tecniche (fonte: elaborazione dell'autore)

1. Finitura interna - finitura RH420 + rasante RH210
2. Pannelli di chiusura RH700
3. Montanti in acciaio (4x4 cm)
4. Vuoto impiantistico
5. Parete prefabbricata RCW con rinforzo
6. Intonaco di fondo RH100
7. Finitura esterno - rasante RH210 + finitura RH220

Elemento	Materiale	Spessore	Conducibilità termica	Resistenza termica	Densità
		m	W/mK	m²K/W	Kg/m³
Finitura RH420	argilla, calce idraulica naturale e pula di riso	0.004	0.53	0.008	950
Rasante RH210	calce naturale, pula di riso, inerti silicei e calcarei	0.005	0.45	0.011	1150
Pannelli RH700	96% paglia di riso e 4% legante naturale	0.02	0.114	0.158	700
Ricecycling Wall	miscela lolla di riso cemento Prompt	0.42	0.10	4.181	1100
RH-100 intonaco di fondo	lolla di riso e calce naturale	0.015	0.45	0.033	1400
Rasante RH210	calce naturale, pula di riso, inerti silicei e calcarei	0.003	0.45	0.007	1150
Intonaco di finitura RH220	calce e pula di riso	0.004	0.53	0.008	1485
		<b>0.469</b>			

## 4.4 / EMISSIONI DI GAS CLIMALTERANTI: RISULTATI E DISCUSSIONI

Le due stratigrafie analizzate, Klimasismico e RiceCyclingWall (RCW), sono state oggetto di uno studio semplificato di Life Cycle Assessment (LCA), limitato alla fase di Produzione (moduli A1–A3) e alla sola categoria di impatto Global Warming Potential (GWP). La valutazione è stata condotta seguendo le linee guida contenute nel documento “Strumenti per la decarbonizzazione” (J. Andreotti e R. Giordano).<sup>1</sup>

Per questa analisi è stato scelto di considerare un campione di parete costituito da 1 m<sup>2</sup> di elemento tecnico. Questa scelta consente un confronto diretto e omogeneo tra sistemi costruttivi differenti, facilitando l'interpretazione dei risultati in termini di incidenza ambientale per superficie. Il primo passaggio ha previsto la scomposizione della stratigrafia muraria, con l'individuazione di ogni componente, definendone lo spessore, il volume, la densità, la massa e il contributo percentuale rispetto al totale. Questo ha consentito di determinare l'incidenza in massa di ciascun strato, evidenziando quelli più significativi in termini di peso, e di preparare i dati necessari per il calcolo del GWP.

Il primo sistema analizzato, il Klimasismico, è costituito prevalentemente da materiali tradizionali. Non essendo a conoscenza del produttore specifico dei materiali impiegati, non è stato possibile reperire una EPD (Environmental Product Declaration)<sup>2</sup> specifica. In mancanza di questi, i valori GWP sono stati reperiti dalle banche dati ambientali Ökobaumat (2023), selezionando dataset generici per rappresentare una media di settore.

Fanno eccezione le lastre esterne e interne S32 modul5, realizzate con una miscela a base di cemento Portland per una, e cemento naturale Prompt per l'altra, non presente nei database, per cui è stato necessario eseguire un calcolo compositivo manuale. Seguendo le indicazioni del già citato documento, si è scomposta la miscela individuando i componenti e le rispettive percentuali in massa. È stato quindi calcolato il GWP dell'intera miscela (riferito al volume) considerando solo i moduli A1–A3, e successivamente convertito in kgCO<sub>2</sub>eq/m<sup>2</sup> di parete, in base ai volumi effettivi. La somma dei contributi GWP dei singoli strati ha restituito un valore complessivo di 79,55 kgCO<sub>2</sub>eq/m<sup>2</sup> per la fase A1–A3 del sistema Klimasismico, (Tabella 4.03).

1. J. Andreotti, R. Giordano, Strumenti per la decarbonizzazione. Valutazione della Whole Life Carbon (WLC) e della Circular Economy (CE) di un manufatto edilizio, 2024.

2. Una EPD, o Dichiarazione Ambientale di Prodotto, è un documento che comunica in modo trasparente e verificato le prestazioni ambientali di un prodotto o servizio lungo il suo intero ciclo di vita.

Per il secondo sistema, il RiceCyclingWall, l'analisi ha richiesto un approccio più articolato. La maggior parte degli strati è costituita da miscele a base di materiali naturali, principalmente di origine vegetale e minerale. Fanno eccezione i montanti in acciaio e la rete portaintonaco RH-GT155, per i quali i dati GWP sono stati ricavati da Ökobaumat (2023).

Per le miscele, è stato adottato lo stesso metodo utilizzato per il sistema Klimasismico, si sono individuati i componenti e le percentuali in massa, ricavando il GWP da fonti di letteratura e banche dati affidabili. Particolare attenzione è stata svolta per la lolla di riso e la paglia, poiché materiali di origine vegetale che possiedono un GWP biogenico. Il GWP fossile è stato ricavato da fonti di letteratura, in particolare:

- Per la lolla di riso è stato tratto dallo studio “Life Cycle Assessment of rice husk as an energy source. A Peruvian case study”<sup>3</sup>, che, mediante allocazione economica<sup>4</sup>, attribuisce alla lolla di riso un valore pari a 0,0314 kgCO<sub>2</sub>eq/kg.
- Per la paglia di riso il dato è stato ottenuto dallo studio “Carbon Footprint of Rice Straw Paper Plate”<sup>5</sup>, con un valore pari a 0,035 kgCO<sub>2</sub>eq/kg.

Successivamente, è stato possibile calcolare il GWP biogenico per entrambi i materiali, è stata utilizzata la formula proposta all'interno del documento già citato “Strumenti per la decarbonizzazione” (J. Andreotti e R. Giordano):

dove:

$$CS_{A1-A3} = \frac{44}{12} * cf * \frac{1}{1 + \frac{\omega}{100}} \left[ \frac{\text{kgCO}_2}{\text{kg di prodotto}} \right]$$

$CS_{A1-A3}$  = Carbonio Sequestrato dall'atmosfera per kg di prodotto

$cf$  = frazione di carbonio presente nella biomassa legnosa, considerando il prodotto secco

3. I. Quispe, R. Navia & R. Kahhat, Life Cycle Assessment of rice husk as an energy source. A Peruvian case study, Journal of Cleaner Production, 209, 2019, pp. 1235-1244

4. L'allocazione economica è un metodo previsto dalle norme ISO 14044 e usato nei casi in cui un processo produce più output (es. chicco di riso + lolla). Il GWP viene ripartito in base al valore economico di ciascun output.

5. M. Yuttiham, et al., Carbon Footprint of Rice Straw Paper Plate. Faculty of Environment and Resource Studies, Mahidol University, Nakhon Pathom, Thailand, 14-15 novembre 2024.

$\omega$	= contenuto di umidità (%)
44	= peso atomico dell'Anidride carbonica (CO <sub>2</sub> )
12	= peso atomico del Carbonio (C)

Questo passaggio è fondamentale perché i materiali di origine vegetale assorbono CO<sub>2</sub> durante la crescita, e tale quantità può essere detratta (come GWP biogenico negativo) secondo le norme UNI EN 15804.<sup>6</sup> In questo modo è stato possibile includere nel calcolo finale anche il potenziale di assorbimento della CO<sub>2</sub> atmosferica da parte dei materiali vegetali durante la loro crescita.

Per quanto riguarda i GWP degli altri materiali presenti nelle miscele (ad esempio argilla, calce, polvere di marmo, inerti silicei e calcarei) sono stati ricavati da banche dati come Ökobaudat (2023) e Inventory of Carbon and Energy (ICE, v4.0).

Tuttavia, a causa della mancanza di informazioni precise sulle composizioni reali di alcuni strati, le percentuali in massa dei vari componenti nelle miscele sono state stimate per analogia con prodotti simili. Fanno eccezione due elementi per i quali sono disponibili dati ufficiali forniti da Rice House:

- Lo strato RCW, composto da una miscela a base di lolla di riso 20%, cemento Prompt 45,5%, acqua 34,5% e una quota residuale di schiuma espansa (non calcolata per l'esigua incidenza massica).
- I pannelli RH700, composti da paglia di riso 96% e cemento naturale Prompt 4%.

Completata la raccolta dati e il calcolo dei singoli contributi, è stato determinato il GWP complessivo del sistema RCW con un valore pari a 43,35 kgCO<sub>2</sub>eq/m<sup>2</sup>, riferito alla sola fase A1–A3. (Tabella 4.04).

## DISCUSSIONE DEI RISULTATI

L'analisi comparativa tra i due sistemi evidenzia una differenza significativa in termini di impatto climatico. Il sistema Klimasismico mostra un valore di Global Warming Potential (GWP) pari a 79,55 kgCO<sub>2</sub>eq/m<sup>2</sup>, quasi il doppio rispetto ai 43,35 kgCO<sub>2</sub>eq/m<sup>2</sup> registrati dal sistema RiceCyclingWall (RCW), considerando in entrambi i casi esclusivamente la fase di Produzione (A1–A3).

Questo risultato conferma il potenziale dei materiali di origine vegetale nella riduzione dell'impronta carbonica dei componenti edilizi, in particolare quando impiegati in forma non trasformata o minimamente lavorata, come in questo caso per la lolla e la paglia di riso. Nel caso

6. UNI EN 15804:2012+A2:2019. Sostenibilità delle costruzioni – Dichiarazioni ambientali di prodotto – Regole quadro per la categoria di prodotto per i prodotti da costruzione. Ente Italiano di Normazione (UNI), Milano.

del sistema RCW, la prestazione ambientale favorevole è da attribuire sia all'impiego di biomasse secondarie, materiali di scarto provenienti da filiere agricole, sia a processi di trasformazione a bassa intensità energetica. Inoltre, l'inclusione del GWP biogenico negativo consente di valorizzare il temporaneo sequestro della CO<sub>2</sub> atmosferica da parte dei materiali vegetali.

Al contrario, il sistema Klimasismico è basato su materiali prevalentemente convenzionali, tra cui il cemento Portland, noto per il suo elevato impatto ambientale, presente nella miscela della lastra S32 Modul5, che costituisce circa il 50% della massa totale dell'intera stratigrafia. Un ulteriore elemento di confronto riguarda la distribuzione percentuale dei materiali in termini di massa. A fronte di uno spessore simile tra i due sistemi (circa 45 cm per il RCW e 41 cm per il Klimasismico), la massa complessiva del sistema RCW risulta comunque significativamente superiore (494,4 kg/m<sup>2</sup> contro 184,92 kg/m<sup>2</sup>). Questo dato evidenzia come l'impatto ambientale non sia direttamente proporzionale al peso complessivo del pacchetto murario, ma piuttosto alla natura dei materiali impiegati e al loro ciclo produttivo. Infatti, nel sistema Klimasismico la massa è concentrata su materiali ad alto contenuto di cemento e inerti, mentre nel sistema RCW la massa è distribuita su materiali bio-based con GWP molto più contenuti, in alcuni casi anche negativi. Ad esempio, nel sistema RCW oltre il 50% in massa è costituito da miscele contenenti materiali vegetali (lolla e paglia), mentre nel Klimasismico prevalgono materiali cementizi e isolanti sintetici. Pur trattandosi di un'analisi LCA semplificata, limitata ai moduli A1–A3 e alla sola categoria GWP su una superficie di 1 m<sup>2</sup>, questi risultati offrono spunti rilevanti per l'adozione di criteri climatici nelle scelte progettuali. La differenza di impatto tra i due sistemi diventa ancora più rilevante se si considera la loro estensione su scala edilizia, suggerendo che già in fase di progettazione si possano compiere scelte tecniche in grado di ridurre le emissioni incorporate degli edifici.

In conclusione, è interessante osservare come l'uso di scarti agricoli localmente disponibili, come nel caso della lolla di riso, apre prospettive concrete per la creazione di filiere territoriali a basso impatto, potenzialmente replicabili in altri contesti agroindustriali. Questo rafforza l'idea che la valorizzazione delle biomasse residue non rappresenta solo una scelta sostenibile sul piano ambientale, ma anche un'opportunità economica e sociale per la rigenerazione di filiere locali e la promozione dell'economia circolare in edilizia.

Elemento	Materiale	Larghezza	Altezza	Spessore	Volume	Densità	Peso	Incidenza
		m	m	m	m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	kg	%
Rasatura armata	intonaco	1.00	1.00	0.015	0.02	1400	21	11.4
Isolante termico	EPS	1.00	1.00	0.06	0.06	20	1.2	0.6
Lastra esterna S32 modul5	miscela cemento Portland	1.00	1.00	0.06	0.06	1500	90	48.7
Strato coibente S32 modul5	EPS	1.00	1.00	0.18	0.18	20	3.6	1.9
Lastra interna S32 modul5	miscela cls Prompt	1.00	1.00	0.04	0.04	1000	40	21.6
Lastra 1/2 bio-cls 1/2 aria	cls Prompt + aria	1.00	1.00	0.04	0.04	500	20	10.8
Finitura interna	cartongesso	1.00	1.00	0.012	0.012	760	9.12	5
				0.412			184.9	100

Elemento	Materiale	Larghezza	Altezza	Spessore	Volume	Densità	Peso	Incidenza
		m	m	m	m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	kg	%
Intonaco RH220	calce, lolla di riso, polveri di marmo	1.00	1.00	0.004	0.004	1485	5.94	1.2
Rasante RH210	calce, lolla di riso, inerti silicei e calcarei	1.00	1.00	0.003	0.003	1150	3.45	0.7
Rete porta intonaco RH-GT155	fibra di vetro	1.00	1.00	0.001	0.001	155	0.155	0.03
Intonaco RH100	calce, lolla di riso, inerti silicei e calcarei	1.00	1.00	0.015	0.015	1400	21	4.25
Rice cycling wall	miscela lolla di riso e cemento Prompt	1.00	1.00	0.38	0.38	1100	418	84.55
Scanalatura 1/2 miscela 1/2 aria	miscela lolla di riso e cemento Prompt	1.00	1.00	0.04	0.02	550	11	2.22
Struttura a montanti	acciaio	1.00	1.00	0.04	0.0016	7850	12.6	2.54
Pannelli RH700	paglia di riso, cemento Prompt	1.00	1.00	0.02	0.018	700	12.6	2.55
Rasante RH210	calce, lolla di riso, inerti silicei e calcarei	1.00	1.00	0.003	0.003	1150	3.45	0.7
Rete porta intonaco RH-GT155	fibra di vetro	1.00	1.00	0.001	0.001	155	0.15	0.03
Rasante RH210	calce, lolla di riso, inerti silicei e calcarei	1.00	1.00	0.002	0.002	1150	2.3	0.47
Finitura RH420	calce, lolla di riso, argilla	1.00	1.00	0.004	0.004	950	3.8	0.77
				0.469			494.4	100

GWP	
kgCO <sub>2</sub> eq/kg	kgCO <sub>2</sub> eq
0.86	18.16
3.48	4.17
0.33	30.10
3.48	12.52
0.22	8.70
0.22	4.35
0.17	1.56
	79.55

#### SISTEMA KLIMASISMICO

La stratigrafia è riportata seguendo l'ordine degli strati, con una lettura dall'elemento esterno fino a quello interno.

Tabella 4.03 - Analisi LCA semplificata del sistema Klimasismico (moduli A1-A3, GWP)  
(fonte: elaborazione dell'autore)

GWP	
kgCO <sub>2</sub> eq/kg	kgCO <sub>2</sub> eq
0.04	0.22
0.02	0.08
4.50	0.70
0.02	0.49
0.01	4.69
0.01	0.12
3.87	48.58
-1.17	-14.69
0.02	0.08
4.50	0.70
0.02	0.05
0.09	0.33
	41.35

#### SISTEMA RICECYCLINGWALL

La stratigrafia è riportata seguendo l'ordine degli strati, con una lettura dall'elemento esterno fino a quello interno.

Tabella 4.04 - Analisi LCA semplificata del sistema RiceCyclingWall (moduli A1-A3, GWP)  
(fonte: elaborazione dell'autore)

# V CAPITOLO

.....  
: SCENARI FUTURI:  
: DIFFUSIONE TERRITO-  
: RIALE E ALTERNATIVE  
: ALLA LOLLA DI RISO



Figura 5.01 - Casa LH con blocchi di biomassa, lolla di riso  
Fonte: Credits Rice House srl

## SCENARI FUTURI: DIFFUSIONE TERRITORIALE E ALTERNATIVE ALLA LOLLA DI RISO

/5

Il capitolo precedente ha evidenziato come l'impiego di materiali bio-based, come la lolla di riso nel sistema RCW, possa ridurre significativamente l'impatto climatico rispetto a soluzioni convenzionali. Partendo da questi risultati, il presente capitolo amplia l'analisi verso la possibilità di diversificare le biomasse utilizzate in edilizia, per favorire una diffusione territoriale più ampia e adattabile rispetto a quella del riso, che se pur significativa in termini quantitativi, risulta essere geograficamente concentrata in alcune regioni.

Dopo un'introduzione sul ruolo dei materiali bio-based nella decarbonizzazione dell'edilizia, si esplora l'ipotesi di diversificare le fonti di biomassa per estendere l'applicabilità del sistema in contesti territoriali differenti, favorendo la creazione di filiere corte locali. Vengono quindi esaminati tre materiali alternativi alla lolla di riso: la lolla di grano, le potature d'olivo e le bucce di arancia, con un confronto finale tra le diverse biomasse per valutarne le potenzialità applicative.

L'obiettivo è fornire indicazioni utili per integrare sottoprodotti agricoli locali in sistemi prefabbricati innovativi, riducendo l'impronta ambientale e promuovendo filiere corte e diversificate.

## 5.1 / DECARBONIZZAZIONE DELL'EDILIZIA: NUOVE FRONTIERE DEI MATERIALI BIO-BASED

Per decenni il focus per la riduzione dell'impatto ambientale del settore edilizio si è concentrato principalmente sull'efficienza energetica durante la vita degli edifici, trascurando il peso crescente delle emissioni incorporate nei materiali e nei processi costruttivi. Tuttavia, con la diffusione degli edifici a energia quasi zero (NZEB), le emissioni operative (Operational Carbon OC) tendono a ridursi rendendo sempre più rilevante il contributo delle emissioni incorporate (Embodied Carbon EC).

In questo scenario, la decarbonizzazione dell'edilizia necessita un'evoluzione nell'uso dei materiali, sostituendo i materiali convenzionali, ad alta intensità di carbonio, con materiali biogenici in grado di ridurre l'impatto ambientale e di immagazzinare carbonio all'interno degli edifici stessi. Questo approccio si allinea con il secondo obiettivo del Green Deal europeo, che punta a trasformare il settore delle costruzioni in una filiera circolare a basso impatto.

Il termine biogenico (bio-based) indica un materiale derivato da biomassa, mentre un prodotto biogenico significa un prodotto completamente o parzialmente derivato da biomassa.<sup>1</sup> L'uso di materiali bio-based, anche se combinati con altri elementi, consente comunque di ridurre l'impiego di una notevole quantità di risorse non rinnovabili e l'impronta carbonica complessiva del prodotto edilizio.<sup>2</sup>

In particolare, i sottoprodotti organici provenienti dall'agricoltura rappresentano una nuova risorsa per l'edilizia, si tratta di materiali disponibili in grandi quantità, a basso costo, riciclabili e con un elevato contenuto di carbonio biogenico.<sup>3</sup>

Inoltre, la loro valorizzazione può contribuire alla gestione dei rifiuti agricoli, una questione importante considerando il loro potenziale rischio ambientale, riducendo le pratiche inquinanti ancora diffuse come la combustione a cielo aperto (che genera emissioni nocive) o la decomposizione incontrollata (che favorisce l'emissione di metano).

1. O. B. Carcassi, I. Paoletti & L. E. Malighetti, Catalogo ragionato dei prodotti biogenici in Europa. Una visione anticipatoria tra potenzialità tecniche e disponibilità, *techne* 22, 2021, p. 63.

2. M. Bertin, Verso la neutralità climatica: Progettare una transizione sostenibile ed equa, vol. 1, 2024, p.176.

3. M. Vitale, Materiale naturale per l'edilizia sostenibile dai sottoprodotti agricoli, Dottorato di ricerca in Valutazione e mitigazione dei rischi urbani e territoriali, 2022, pp. 17-18.

Un campo promettente è l'impiego di questi scarti organici come aggregati o riempitivi all'interno di biocompositi per il settore edile, in particolare per elementi isolanti, pannelli e finiture. In questo senso, i materiali bio-based rappresentano una duplice opportunità: da un lato, favoriscono il riciclo e il riuso dei residui agricoli; dall'altro, costituiscono una valida alternativa ai materiali isolanti tradizionali.<sup>4</sup>

Un altro aspetto fondamentale da considerare è il controllo della filiera produttiva, favorendo sistemi di filiera corta, in cui vi sia una stretta prossimità tra il luogo di origine del sottoprodotto, il sito di trasformazione e quello di impiego edilizio. Questa configurazione, oltre a ridurre i costi e le emissioni legate al trasporto, consente un uso più consapevole e responsabile delle risorse locali, contribuendo alla valorizzazione dei territori.<sup>5</sup>

In questo quadro, l'impiego della lolla di riso – come illustrato nei capitoli precedenti – ha dimostrato un buon potenziale per coniugare sostenibilità ambientale, economia circolare e buone prestazioni tecniche. Tuttavia, la localizzazione territoriale ristretta di questo sottoprodotto, disponibile prevalentemente nel nord Italia, rappresenta un limite alla sua diffusione su scala nazionale. Per ampliare l'impatto della bioedilizia e renderla realmente replicabile in diversi contesti, si rende quindi necessario diversificare le biomasse utilizzate, esplorando sottoprodotti agricoli alternativi, più facilmente reperibili nei diversi territori e capaci di offrire performance comparabili o complementari a quelle della lolla di riso.

4. V. Barbieri, M. L. Gualtieri & C. Siligardi, Wheat husk: A renewable resource for bio-based building materials. *Construction and Building Materials*, 251, 2020, p. 2.

5. M. Bertin, op. cit., p.176.

## 5.2 / OLTRE LA LOLLA: LA NECESSITÀ DI DIVERSIFICARE LE BIOMASSE

La lolla di riso è un sottoprodotto derivante dalla lavorazione del riso, la cui coltivazione in Italia si concentra prevalentemente nelle aree pianeggianti del Nord, con un baricentro geografico ben definito nella Pianura Padana. In particolare, il distretto risicolo si sviluppa tra Lombardia e Piemonte, costituendo il limite settentrionale della coltura del riso in Europa. Le potenzialità legate all'utilizzo della lolla, così come l'interesse per la sua valorizzazione in ambito edilizio, risultano strettamente connesse alla scala territoriale considerata. Il distretto può essere infatti interpretato in senso ristretto, includendo solo le province storicamente predisposte alla risicoltura, Vercelli, Novara e Pavia, oppure in senso esteso, comprendendo anche territori limitrofi che, pur con una minore specializzazione, presentano comunque ampie superfici coltivate a riso, come Alessandria, Lodi, Biella e Milano.<sup>1</sup>

Per visualizzare la distribuzione attuale della coltivazione del riso in Italia e comprendere i limiti territoriali legati alla disponibilità della lolla, si propone di seguito una mappa elaborata a partire da dati ISTAT(2023) (Fig. 5.02), che evidenzia le principali aree destinate alla risicoltura e la loro concentrazione nel Nord del Paese nel 2023.

Tuttavia, questa localizzazione geografica ristretta rappresenta un limite per l'applicazione su scala nazionale di un sistema prefabbricato basato esclusivamente su scarti della risicoltura, come il modello RCW (RiceCyclingWall). La replicabilità del sistema è quindi condizionata dalla disponibilità prossimale della materia prima rendendo necessaria la ricerca e l'integrazione di altre biomasse locali con caratteristiche simili alla lolla di riso, in modo da ampliare e coprire gran parte del territorio italiano.

Per orientare questa ricerca, è stato adottato un approccio basato su criteri multipli di selezione, che tengono conto di aspetti territoriali, tecnici e ambientali. In particolare, sono stati privilegiati sottoprodotti agricoli che hanno:

- Un'ampia diffusione sul territorio nazionale, in modo da garantire un approvvigionamento locale e stabile in diverse aree geografiche;
- Una potenziale compatibilità fisico-tecnica con la lolla di riso, considerando composizione chimica, struttura fibrosa o contenuto in silice;

1. C. Brusa, et al., Il riso: produzione, lavorazione, tradizioni e sviluppo locale. Il Piemonte Orientale in rapporto al vasto mondo. Prospettive di ricerca a seguito dell'Anno Internazionale del Riso 2004, GEOTEMA, 24, pp. 87-88.

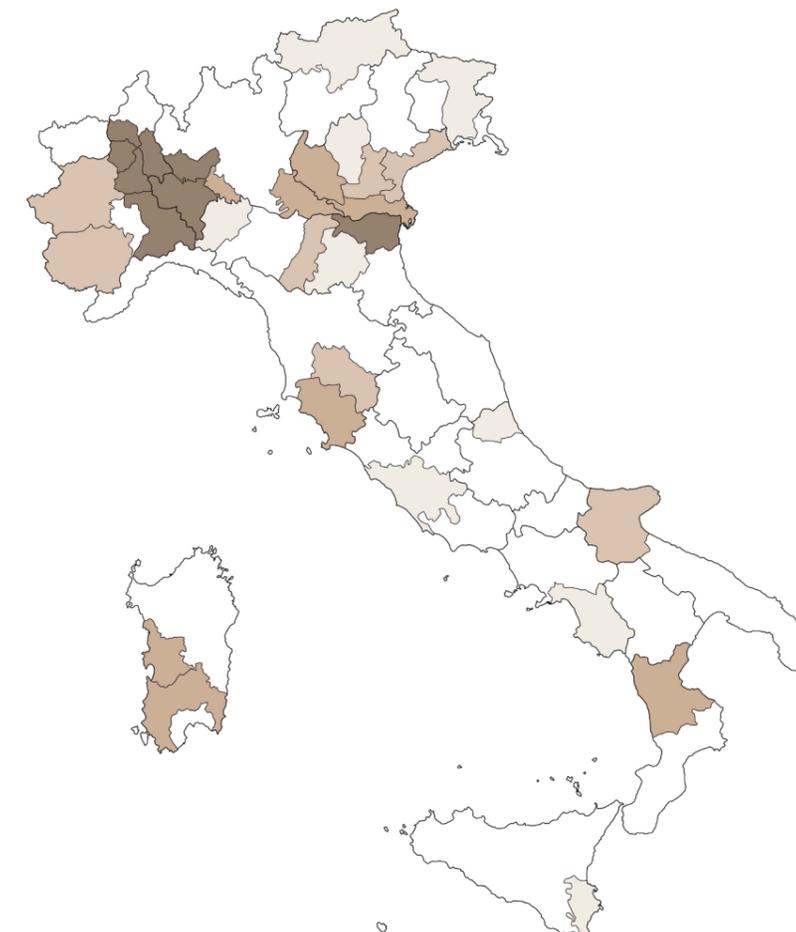
to in silice;

- Una rilevanza in termini di economia circolare, ovvero scarti attualmente sottoutilizzati o smaltiti con impatti ambientali significativi, per i quali una valorizzazione in edilizia rappresenterebbe un'opportunità di recupero.

Sulla base di questi criteri, verranno approfondite tre biomasse selezionate come casi studio rappresentativi: lolla di grano, patate dell'olivo e bucce di arancia, analizzandone le caratteristiche e la potenziale integrazione in tecnologie edilizie bio-based.

Figura 5.02 - Superfici coltivate a riso delle province in Italia nell'anno 2023 (fonte: elaborazione dell'autore su dati ISTAT)

La mappa evidenzia che le aree dedicate alla risicoltura in Italia sono concentrate principalmente nel nord, in particolare Vercelli (71.136 ettari), Pavia (69.869 ettari) e Novara (30.974 ettari).



## 5.3 / TRE SCENARI POSSIBILI: MAPPATURA DELLE PRINCIPALI BIOMASSE AGROALIMENTARI ALTERNATIVE ALLA LOLLA DI RISO

Nel processo di selezione delle biomasse alternative alla lolla di riso, si è seguito un approccio metodico basato su criteri quantitativi, qualitativi e territoriali. La scelta è ricaduta su tre tipologie di scarto agricolo - lolla di grano, potature di ulivo e bucce di arancia - in quanto rispondono positivamente a più dei requisiti individuati.

In primo luogo, si è considerata la diffusione territoriale: ogni residuo è legato a una filiera agricola estesa e consolidata in aree diverse d'Italia. La lolla di grano è un sottoprodotto della cerealicoltura presente in tutta la Penisola, soprattutto nelle regioni centrali e meridionali; le potature di alberi da frutto, con particolare attenzione all'olivo, sono diffuse principalmente nelle regioni del Sud e delle isole e infine le bucce di arancia che derivano dalla filiera agrumicola, presente principalmente nelle regioni della Sicilia e Calabria e rappresentano uno dei principali sottoprodotti inutilizzati del settore agroindustriale.

In secondo luogo, queste biomasse presentano caratteristiche chimico-fisiche potenzialmente compatibili con la lolla di riso. La lolla di grano condivide la stessa natura di scarto della lolla di riso, con proprietà molto simili; le potature lignocellulosiche offrono buone proprietà meccaniche e strutturali, mentre gli scarti agrumicoli, se opportunamente trasformati (es. in biochar), mostrano potenzialità interessanti come additivi o componenti leganti.

Infine, si è tenuto conto del potenziale di valorizzazione circolare: tutti e tre gli scarti selezionati sono attualmente sottoutilizzati o smaltiti con impatti ambientali rilevanti (es. bruciati, interrati o scartati come rifiuti organici). La loro riconversione in materiali da costruzione risponderebbe non solo a esigenze tecniche, ma anche a logiche di economia circolare e riduzione dell'impronta ambientale del settore edilizio.

### 5.3.1 / LA LOLLA DI GRANO

La lolla di grano è un sottoprodotto della filiera cerealicola, derivante dalla trebbiatura del frumento, e rappresenta circa il 20% in peso dei residui generati dalla lavorazione del grano. In Italia, questo materiale risulta ampiamente disponibile grazie alla significativa estensione delle superfici coltivate a frumento.

Secondo i dati ISTAT relativi al 2024, le superfici coltivate a frumento duro ammontano a 1.177.436 ettari, mentre quelle destinate al frumento tenero sono pari a 520.314 ettari. Le regioni con la maggiore estensione dedicata al frumento duro sono Puglia, Sicilia, Basilicata, Marche, Emilia-Romagna e Campania, mentre il frumento tenero è maggiormente diffuso in Emilia-Romagna, Veneto, Piemonte e Lombardia.

Considerando l'ampiezza delle superfici coltivate, si prenderà come riferimento principale il frumento duro. A tal fine, si propone una mappa (Fig. 5.03), elaborata a partire dai dati ISTAT, che evidenzia le principali aree italiane destinate alla sua coltivazione nel corso dell'anno 2024.

Secondo lo studio di riferimento condotto da Barbieri et al. (2020)<sup>1</sup>, la lolla di grano è stata impiegata come aggregato leggero in un calcestruzzo bio-based isolante a base di calce. Il materiale utilizzato nello studio proviene da un processo di decorticazione gestito dalla cooperativa agricola di San Felice sul Panaro (MO) e viene impiegata in forma grezza, senza trattamenti preliminari quali combustione, macinazione o modifiche chimiche.

Dal punto di vista fisico, la lolla di grano presenta una densità apparente compresa tra 144 e 148 kg/m, paragonabile a quella della lolla di

Legenda:

Superficie totale - ettari

da 1 a 1.000
da 1.000 a 3.794
da 3.794 a 15.000
da 15.000 a 240.000

Caratteristiche	
cellulosa	39 %
emicellulosa	30 %
lignina	16 %
ceneri totali	6-10 %
densità apparente (kg/m <sup>3</sup> )	146
conducibilità termica miscela (W/mK)	0.092

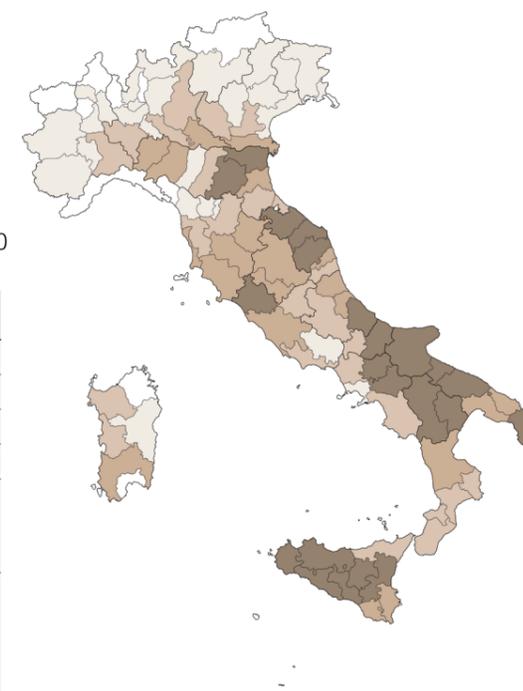


Tabella 5.01 - Caratteristiche tecnico-fisiche della lolla di grano. (fonte: elaborazione dell'autore)

Figura 5.03 - Superfici coltivate a frumento duro delle province in Italia nell'anno 2024 (fonte: elaborazione dell'autore su dati ISTAT)

1. V. Barbieri, M. L. Gualtieri & C. Siligardi, Wheat husk: A renewable resource for bio-based building materials. Construction and Building Materials, 251, 2020.

riso (120–140 kg/m), grazie a una morfologia delle particelle simile a forma di “barca” con due valve connesse tra loro e dimensioni granulometriche comparabili. La composizione chimica comprende cellulosa (circa 39%), emicellulosa (30%), lignina (16%) e ceneri totali tra il 6% e il 10%, di cui una parte significativa è costituita da silice.

La presenza di silice (confermata da segnali FTIR a 800 e 1100 cm<sup>-1</sup>)<sup>2</sup> è particolarmente concentrata nella superficie concava interna (adassiale), sebbene la lolla di grano contenga meno silice rispetto alla lolla di riso (21%), la quantità presente sembra sufficiente per migliorare resistenza al fuoco, durabilità e reattività pozzolanica, rispetto a un altro aggregato, contribuendo alla stabilità chimica dell'impasto. La porosità totale della lolla è molto elevata (circa 90%), qualità essenziale per ottenere una bassa conducibilità termica. Quando utilizzata in una miscela a base di calce idraulica naturale, la lolla di grano consente di ottenere un calcestruzzo leggero con porosità dell'80%, conducibilità termica di 0.092 W/(m·K) e resistenza a compressione pari a 0.16 MPa dopo 30 giorni, rendendolo adatto ad applicazioni non strutturali come tamponamenti o pannelli isolanti.

Rispetto alla lolla di riso, la lolla di grano mostra prestazioni simili in termini di isolamento termico e lavorabilità, pur differenziandosi per una maggiore densità delle particelle e una minore capacità di assorbimento d'acqua, che può ridurre i problemi di ritiro o competizione d'acqua con il legante. Queste caratteristiche la rendono potenzialmente compatibile come alternativa alla lolla di riso, soprattutto in contesti dove la filiera corta e la disponibilità locale giocano un ruolo chiave.

Tuttavia, ulteriori studi sono necessari per verificarne l'adattabilità a sistemi prefabbricati rinforzati o all'uso con leganti alternativi.

### 5.3.2 / POTATURE DELL'OLIVO

La potatura di olivo è lo scarto agricolo più abbondante nella regione mediterranea e non è ancora stato definito un percorso di sfruttamento sostenibile. L'Italia, secondo i dati Istat del 2017, presenta una superficie coltivata a olivo, per densità delle piante, pari a 10.70.666 ettari. Le superfici si trovano prevalentemente nelle regioni come Puglia, Calabria, Sicilia, Toscana e Campania. Questa coltivazione caratterizza il paesaggio agrario italiano e genera ogni anno una grande quantità di residui derivanti dalla potatura degli alberi di ulivo. Questi scarti, se

2. I segnali FTIR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy) a 800 cm e 1100 cm<sup>-1</sup> indicano la presenza di silice (SiO<sub>2</sub>), in quanto corrispondono a specifiche vibrazioni molecolari dei legami silicio-ossigeno rilevate tramite spettroscopia infrarossa.

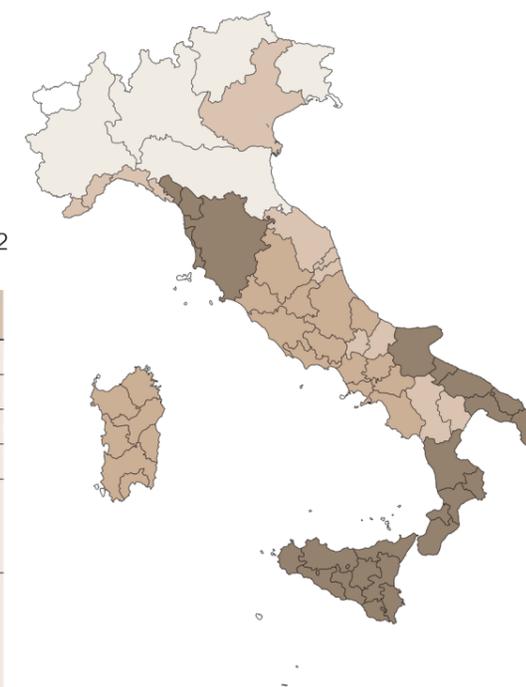
non gestiti correttamente, vengono spesso destinati alla combustione in campo aperto, contribuendo così alle emissioni di gas climalteranti e alla dispersione di materiali potenzialmente riutilizzabili. In un'ottica di economia circolare, negli ultimi anni la ricerca ha esplorato nuove modalità di valorizzazione di questi residui, in particolare tramite la conversione in biochar, un carbone vegetale ottenuto tramite pirolisi controllata della biomassa.

Lo studio condotto da D. Kalderis et al. (2024)<sup>3</sup>, utilizza il biochar derivato da potature di olivo (OTB, Olive Tree prunings) all'interno di miscele cementizie, in particolare come riempitivo in percentuali comprese tra il 2% e il 5% in peso sul cemento. I risultati di queste sperimentazioni sono incoraggianti: l'aggiunta di biochar ha permesso di migliorare alcune proprietà fisiche della malta, come la compattezza, grazie alla riduzione della porosità (-27,8%) e dell'assorbimento capillare (-27,3%) a 28 giorni, rispetto al materiale di riferimento. Tali miglioramenti sono compatibili con l'effetto riempitivo già riscontrato in altri biochar, e trovano un interessante parallelo con l'impiego della lolla di riso. Tuttavia, a differenza della lolla di riso, ricca in silice, il biochar da potatura di ulivo è caratterizzato da un'elevata componente calcarea

Legenda:

Superficie totale - ettari

- da 1 a 2.864
- da 2.864 a 25.548
- da 25.548 a 66.432
- da 66.432 a 381.392



#### Caratteristiche

cellulosa	33.83 %
emicellulosa	21.65 %
lignina	28.27 %
ceneri totali	5.11 %
densità apparente (kg/m <sup>3</sup> )	326
conducibilità termica miscela (W/mK)	-

Tabella 5.02 - Caratteristiche tecnico-fisiche della potatura di ulivo. (fonte: elaborazione dell'autore)

Figura 5.04 - Superficie investita a olivo per densità delle piante, per regione in Italia nell'anno 2017 (fonte: elaborazione dell'autore su dati ISTAT)

3. D. Kalderis, E. Anastasiou, E. Petrakis & S. Konopisi, Utilization of biochar from olive tree pruning as additive to cement mortars. Journal of Cleaner Production, 469, 2024.

(CaO<sub>2</sub> ≈ 26%), legata alla natura dei suoli mediterranei calcarei su cui crescono gli ulivi. Questo contenuto può contribuire positivamente allo sviluppo di resistenze meccaniche nelle miscele cementizie, potenziando l'azione legante del cemento attraverso la formazione di calcite. Inoltre, l'aumento della densità a fresco della malta osservato con l'introduzione dell'OTB indica una buona capacità di compattazione, aspetto utile anche in applicazioni prefabbricate.

L'introduzione del biochar nella miscela comporta una riduzione della lavorabilità, compensata però da un dosaggio controllato di superfluidificante (1,3% e 1,73% per OTB al 2% e 5%, rispettivamente), mantenendosi comunque entro soglie accettabili per l'uso in cantiere. Le resistenze meccaniche a compressione e flessione hanno mostrato un leggero miglioramento già a 7 e 28 giorni, con un incremento più evidente a 56 giorni nei campioni con 5% di biochar, probabilmente grazie a fenomeni di idratazione prolungata e azione idraulica latente. Oltre al biochar, anche le fibre naturali ottenute dalla potatura dell'ulivo sono state studiate da M.A. Gomez-Casero et al. (2024)<sup>4</sup>, come potenziale rinforzo in leganti alternativi come i cementi attivati con alcali. Queste fibre, utilizzate nella percentuale dell'1% in peso, sono ricche di cellulosa (33,8%), emicellulosa (21,7%), lignina (28,3%), ceneri (5,11%) e altri (11,13), caratteristiche che le rendono simili ad altre fibre naturali già usate in edilizia sostenibile.

Rispetto alla lolla di riso, che si presta meglio come riempitivo e isolante grazie alla sua struttura cava e al contenuto di silice, le fibre di potatura di ulivo offrono un vantaggio meccanico come componente strutturale leggera, specialmente se opportunamente trattate fisicamente o chimicamente per migliorarne l'adesione alla matrice cementizia. Dal punto di vista ambientale, la conversione delle potature in biochar rappresenta un'alternativa alla combustione, contribuendo sia al sequestro di carbonio che alla produzione di materiali da costruzione a valore aggiunto. Sebbene gli studi analizzati siano stati condotti in Grecia, i risultati possono offrire spunti trasferibili al contesto italiano, data la similarità climatica e agronomica dei due territori. Rispetto alla lolla di riso la potatura dell'olivo mostra buona compatibilità in alcune applicazioni: può essere impiegata in forma di biochar come riempitivo o additivo reattivo in miscele cementizie, e le sue fibre possono svolgere un ruolo di rinforzo strutturale nei materiali compositi. Tuttavia, a causa della composizione chimica differente (maggiore contenuto di calce, minore silice), la sostituzione della lolla di riso con potatura di ulivo non è diretta e richiede un'analisi e una progettazione mirata delle miscele a seconda delle prestazioni richieste.

4. M. A. Gómez-Casero, L. Pérez-Villarejo, E. Castro & D. Eliche-Quesada, Reinforcement of alkali-activated cements based matrices using olive pruning fibres as an alternative to traditional fibres. Sustainable Chemistry and Pharmacy, 37, 2024.

## BUCCE DI ARANCIA

/ 5.3.3

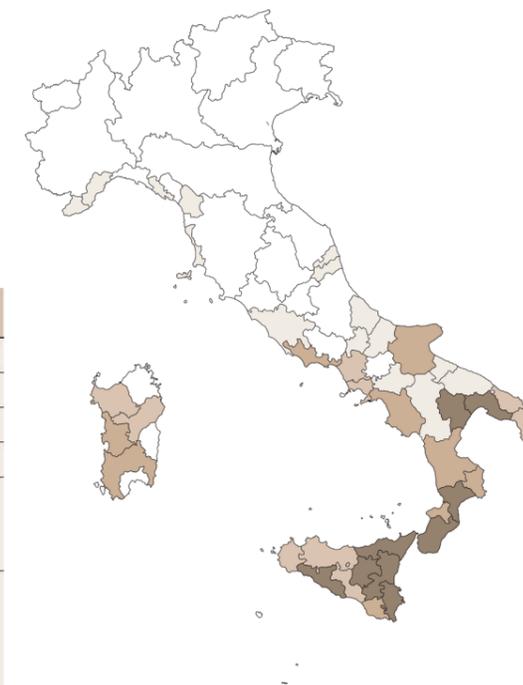
La buccia d'arancia è uno dei sottoprodotti agroindustriali più abbondanti derivanti dalle coltivazioni agrumicole e rappresenta una risorsa organica ancora poco valorizzata all'interno dei cicli edilizi. In Italia, secondo i dati ISTAT del 2024, la superficie totale coltivata ad arancia è pari a 85.502 ettari, con estensioni rilevanti in regioni come Sicilia, Calabria, Basilicata, Sardegna e Puglia. Le bucce d'arancia possono rappresentare fino al 20-30% in peso del frutto e, se non correttamente gestite, generano quantitativi ingenti di rifiuti organici.

In un'ottica di economia circolare, uno studio condotto da A. Kilani et al. (2022)<sup>1</sup> ha individuato due modalità principali di valorizzazione della buccia d'arancia in edilizia: da una parte, l'impiego della fibra o della polvere di buccia essiccata e macinata - definite rispettivamente come orange peel fiber (OPF) e orange peel powder (OPP) - in funzione di rinforzo organico; dall'altra, l'utilizzo della cenere ottenuta tramite combustione controllata della buccia, nota come orange peel

Legenda:

Superficie totale - ettari

- da 1 a 25
- da 25 a 350
- da 350 a 2.561
- da 2.561 a 25.530



Caratteristiche	
cellulosa	69.1 %
emicellulosa	5.4 %
lignina	19.8 %
ceneri totali	0.05 %
densità apparente (kg/m <sup>3</sup> )	1162
conducibilità termica miscela (W/mK)	-

Tabella 5.03 - Caratteristiche tecnico-fisiche della buccia di arance. (fonte: elaborazione dell'autore)

Figura 5.05 - Superficie investita ad arance, per provincia in Italia nell'anno 2024. (fonte: elaborazione dell'autore su dati ISTAT)

1. A. Kilani, et al., Structural performance of concrete reinforced with banana and orange peel fibers-a review. Journal of Sustainable Construction Materials and Technologies, 7(4), 2022, pp. 339-357.

ash (OPA), come sostituto parziale del cemento.

Il contributo principale della buccia risiede nella sua composizione chimica, che vede una prevalenza di cellulosa (69,1%), seguita da lignina (19,8%) ed emicellulosa (5,93%).<sup>2</sup> Questi elementi la rendono particolarmente adatta a svolgere una funzione fibrosa all'interno di matrici cementizie. Rispetto alla lolla di riso, che si distingue per l'elevato contenuto di silice e per le sue proprietà pozzolaniche, la buccia d'arancia si presenta come una biomassa ricca in cellulosa, più affine a un utilizzo di tipo fibroso piuttosto che reattivo, risultando utile per il miglioramento della resistenza a trazione e a flessione dei materiali. In particolare, l'aggiunta di OPP o OPF ha permesso di aumentare la resistenza a trazione fino al 30,2% e di migliorare le prestazioni a flessione e deflessione, con variazioni anche nella densità del materiale: in alcune miscele è stato osservato un aumento della densità fino al 5,34%, mentre in altre una riduzione fino al 16%, aprendo la possibilità di ottenere calcestruzzi alleggeriti e termoisolanti.<sup>3</sup>

Diverso è il comportamento della buccia in forma di cenere, l'OPA, ottenuta attraverso la combustione della biomassa, viene utilizzata come sostituto parziale del cemento, generalmente in percentuali comprese tra il 2,5% e il 10%. La sua introduzione negli impasti ha evidenziato effetti rilevanti sulla consistenza e sulla lavorabilità: è stato rilevato un aumento della richiesta d'acqua fino al 48,7% e un incremento dei tempi di presa dovuti alla ridotta quantità di clinker e alla maggiore porosità dell'aggregato. Anche la resistenza a compressione ha mostrato comportamenti contrastanti: in alcune miscele l'aggiunta di OPA ha prodotto una riduzione della resistenza fino al 13% quando utilizzata come inibitore di corrosione, mentre in altri casi, con dosaggi contenuti e tempi di stagionatura prolungati (fino a 28 giorni), si è osservato un aumento dell'80% della resistenza rispetto al campione di riferimento. Le prove sperimentali condotte su materiali a base di buccia d'arancia indicano inoltre un miglioramento del modulo elastico e della resistenza alla trasmissione del calore. La riduzione della conducibilità termica e l'effetto riempitivo della fibra all'interno della matrice cementizia contribuiscono alla produzione di materiali più isolanti e resistenti alle deformazioni, analogamente a quanto osservato con la lolla di riso.<sup>4</sup>

In sintesi, la buccia d'arancia si presenta come una risorsa organica multifunzionale, utilizzabile sia in forma fibrosa per il rinforzo strutturale e l'alleggerimento dei materiali, sia in forma di cenere come additivo

2. A. Kilani, et al., Structural performance of concrete reinforced with banana and orange peel fibers-a review. *Journal of Sustainable Construction Materials and Technologies*, 7(4), 2022, pp. 344.

3. Ivi, pp. 351-352

4. Ivi, pp. 349-350

legante, sebbene con prestazioni inferiori rispetto a materiali pozzolanici convenzionali. Rispetto alla lolla di riso, la buccia d'arancia offre vantaggi principalmente in ambito meccanico e termico, mentre risulta meno adatta per l'impiego come sostituto del cemento, a meno di trattamenti specifici o combinazioni con altri materiali attivi.

Infine, saranno necessari ulteriori studi per verificare la possibile adattabilità della buccia d'arancia a sistemi prefabbricati rinforzati, come il sistema RCW, o per valutarne l'impiego in forma fibrosa e organica all'interno della stratigrafia del sistema prefabbricato predecessore del RCW, ovvero il Klimasismo, ipotizzando la sostituzione dell'isolante interno in EPS con un pannello o una miscela contenente buccia d'arancia.

## SINTESI COMPARATIVA TRA BIOMASSE

/ 5.3.4

L'analisi comparativa delle tre biomasse alternative alla lolla di riso - lolla di grano, potature d'ulivo e bucce d'arancia - evidenzia le differenze nelle loro caratteristiche chimico-fisiche, nei punti di forza e nelle criticità in relazione al potenziale utilizzo in edilizia. Tutte condividono un elemento chiave: l'elevata disponibilità territoriale in Italia, che le rende potenzialmente interessanti per un impiego nell'ottica circolare e a filiera corta.

La lolla di grano, pur condividendo con la lolla di riso la natura di scarto della decorticazione del chicco, presenta un contenuto in silice inferiore e una maggiore variabilità in termini di struttura e composizione. Le sue caratteristiche termiche, la rendono interessante come materiale alleggerente o isolante in applicazioni passive. Tuttavia, la scarsa reattività pozzolanica ne limita l'utilizzo come sostituto attivo di leganti idraulici, a meno di trattamenti specifici che ne valorizzino la frazione minerale.

Le potature dell'olivo, derivanti dalla manutenzione ordinaria degli oliveti, rappresentano una biomassa largamente disponibile, soprattutto nelle regioni meridionali. Nonostante siano ancora poco esplorate in ambito edilizio, studi recenti ne evidenziano il potenziale come rinforzo fibroso in compositi naturali o come componente leggera in conglomerati isolanti.

Le fibre dell'olivo possono migliorare le prestazioni a trazione e flessione, mentre la componente lignocellulosica consente di realizzare miscele isolanti buone proprietà termiche ( $\approx 0,051 \text{ W/mK}$ ). Tuttavia, la disomogeneità del materiale e la necessità di processi di tratta-

to e selezione rappresentano un elemento importante che necessita analisi dettagliate per la verifica e l'applicabilità per la prefabbricazione su larga scala.

Infine, le bucce d'arancia si configurano come una risorsa organica multifunzionale, adatta sia per applicazioni strutturali che isolanti, in funzione della modalità di trattamento. La fibra (OPF) e la polvere (OPP) si sono dimostrate efficaci nel migliorare la resistenza a trazione, compressione e flessione dei materiali cementizi e compositi, mentre la versione in cenere (OPA) offre un parziale comportamento pozzolanico. La composizione chimica con cellulosa fino al 69% e lignina al 19% e la bassa conducibilità termica, rendono la biomassa adatta anche alla produzione di materiali leggeri e isolanti. Tuttavia, l'elevato contenuto d'umidità, la forte sensibilità ai dosaggi e alle modalità di trattamento (essiccazione, calcinazione, granulometria) richiedono un rigoroso controllo di processo per garantire prestazioni costanti.

Nel complesso, tra le biomasse analizzate, la lolla di grano si avvicina maggiormente alla lolla di riso, sia per origine che per struttura leggera, mostrando un buon potenziale come aggregato alleggerito o materiale di riempimento. Le potature d'ulivo e le bucce d'arancia, pur presentando una maggiore complessità gestionale, si configurano come materiali ad alta innovatività, potenzialmente utili in ambiti specifici come compositi rinforzati, intonaci naturali o malte a bassa densità.

Va tuttavia sottolineato che queste considerazioni derivano da un'analisi teorica basata su dati di letteratura e studi sperimentali preli-

Tabella 5.04 - Comparazione caratteristiche tecnico-fisiche delle biomasse: lolla di riso, lolla di grano, potatura di ulivo, bucce di arancia (fonte: elaborazione dell'autore)

Caratteristica	Unità di misura	LOLLA DI RISO
Origine	-	Scarto della sbramatura
Produzione annua (Italia)	Mt	~0.7 Mt
Densità apparente	kg/m <sup>3</sup>	125
Conducibilità termica ( $\lambda$ )	W/mK	0.051
Igroscopticità / Traspirabilità	-	ottima
Cellulosa	%	45
Emicellulosa	%	25-30
Lignina	%	15-35
Ceneri totali	%	17-23
Durabilità	-	alta

minari: per una loro reale applicazione nella creazione di un sistema prefabbricato complesso, come il sistema RCW, sarebbero necessarie analisi tecniche approfondite sul comportamento delle biomasse in condizioni operative, oltre a test di compatibilità con i componenti strutturali e funzionali.

LOLLA DI GRANO	POTATURA DELL'OLIVO	BUCCE DI ARANCIA
Scarto della trebbiatura	Scarto da manutenzione oliveti	Scarto dell'industria di trasformazione agrumi
~1,3 Mt	~6 Mt	~0.7 Mt
146	326	11625 (media)
0.092 (miscela)	-	-
buona	ottima	elevata umidità
39	33.83	69.1
30	21.65	5.43
16	28.27	19.8
6-10	5.11	0.052
buona	buona con trattamento	buona con trattamento

## CONSIDERAZIONI FINALI

La tematica della decarbonizzazione del settore edilizio è una questione sempre più centrale in un periodo segnato dalla crisi climatica. Questo impone un'evoluzione profonda del settore, che guardi non solo alla fase d'uso degli edifici ma anche ai materiali impiegati e ai processi produttivi che ne determinano l'impatto ambientale. In questo scenario, i sottoprodotti agricoli offrono un'opportunità concreta: permettono di ridurre la dipendenza da materiali convenzionali ad alto impatto ambientale e promuovono un'edilizia sempre più circolare.

Inoltre, valorizzare e riutilizzare questi sottoprodotti può contribuire in modo significativo anche alla gestione dei rifiuti agricoli, tema oggi sempre più urgente se si considera il loro potenziale impatto ambientale. Pratiche diffuse come la combustione a cielo aperto, che genera emissioni di gas nocivi, o la decomposizione incontrollata, che favorisce il rilascio di metano, uno dei gas serra più inquinanti. Convertire questi scarti in materiali da costruzione rappresenta quindi una strategia positiva non solo per l'edilizia ma anche per il settore agricolo stesso.

Attraverso l'analisi della filiera del riso, questa tesi ha mostrato come materiali spesso considerati scarto, come la lolla, possano acquisire un nuovo significato tecnico e ambientale all'interno dell'industria delle costruzioni. L'esperienza di Ricehouse, e in particolare la collaborazione allo sviluppo del sistema prefabbricato RiceCyclingWall, rappresentano un esempio virtuoso di innovazione circolare applicata al settore edilizio. L'analisi svolta in cantiere e la valutazione semplificata LCA hanno permesso di confermare il potenziale ambientale di questo sistema, mettendolo a confronto con il suo predecessore, un sistema prevalentemente tradizionale, e mostrando i benefici derivanti dall'impiego di materiali biogenici.

I risultati finali ottenuti per i due sistemi, limitati ai moduli A1-A3 e alla sola categoria del Global Warming Potential (GWP), sono stati: 79,55 kgCO<sub>2</sub>eq/m<sup>2</sup> per il sistema Klimasismico e 41,35 kgCO<sub>2</sub>eq/m<sup>2</sup> per il sistema RiceCyclingWall. Questi valori confermano il potenziale dei materiali di origine vegetale nel contribuire alla riduzione dell'impronta carbonica dei componenti edilizi, in particolare quando impiegati in forma grezza o minimamente trasformata.

Tuttavia, la filiera del riso ha una distribuzione geografica limitata al Nord Italia e non può da sola soddisfare le esigenze di un mercato edilizio in transizione. Per rendere davvero replicabile e scalabile questo

approccio, è necessario diversificare le biomasse impiegate, esplorando sottoprodotti agricoli alternativi che siano più facilmente reperibili nei diversi territori e che presentino proprietà comparabili a quelle della lolla di riso. Le biomasse alternative selezionate in questo lavoro sono tre: la lolla di grano, le potature dell'olivo e le bucce di arancia. Queste sono state individuate sulla base di criteri qualitativi, quantitativi e di diffusione territoriale, e rappresentano una possibile prospettiva per rendere questa strategia replicabile su scala territoriale più ampia.

Il lavoro qui svolto nasce dalla volontà di immaginare un'edilizia che sia davvero in equilibrio con l'ambiente che la ospita. Un'edilizia capace di guardare alle risorse locali non come limiti o rifiuti, ma come opportunità. Che riscopra il valore di ciò che oggi viene scartato, come i sottoprodotti agricoli, e lo trasformi in elementi costruttivi concreti, funzionali e performanti. In un tempo in cui la tecnologia deve imparare a rispettare i ritmi e i limiti del pianeta, è proprio in questo dialogo tra agricoltura e architettura che può nascere una nuova visione dell'abitare, una prospettiva di edilizia più circolare. Una visione che non ha la pretesa di risolvere tutto, ma che prova a indicare una strada diversa, possibile e già realizzabile.

## BIBLIOGRAFIA

R. Bernardi & P. Marazzini, Riso ieri. Riso oggi. Innovazione nella tradizione, GEOTEMA (Rivista dell'Associazione dei Geografi Italiani - AGEI), 19, 2003, pp. 38-43.

P. Molinari, Diffusione della produzione e del consumo del riso in Italia, GEOTEMA, (Rivista dell'Associazione dei Geografi Italiani - AGEI), 19, 2003, pp. 29-37.

M. L. Ronco, Il riso e la sua lavorazione. Dall'economia artigiana all'economia industriale, GEOTEMA, (Rivista dell'Associazione dei Geografi Italiani - AGEI), 19, 2003, pp. 44-52.

C. Brusa, G. Dino, G. Piercarlo, M. Paolo, P. Davide, S. Battista & A. Santini, Il riso: produzione, lavorazione, tradizioni e sviluppo locale. Il Piemonte Orientale in rapporto al vasto mondo. Prospettive di ricerca a seguito dell'Anno Internazionale del Riso 2004. GEOTEMA, 24, 2004, pp. 86-95.

A. Ferrero, Opportunità e limiti nella produzione del riso in Europa, GEOTEMA, 19, 2003, p. 16-26.

S. Tassinato, Prove di Taleggio di Rosa e Geranio su substrati contenenti lolla di riso e residui di digestato anaerobico, Università degli Studi di Padova, 2010-2011.

E. Repaci, F. Allieri & M. Rondanelli, Qualità nutrizionali del riso e confronto con gli altri cereali. Nutritional aspects of rice and comparison with other cereals, Seminario riso, pp. 112-120.

G. Giaccone, Da scarti agroalimentari a prodotti per l'architettura e il design: sviluppo di un pannello con lolla di riso, Politecnico di Torino, 2019-2020.

S. Bruni, Studio di un nuovo pannello isolante per l'edilizia composto da paglia di riso trinciata e legante vegetale, Tesi di laurea, Politecnico di Torino, 2020.

Relazione annuale d'impatto della Società Benefit, Da problema pubblico ad opportunità economica. La filiera degli scarti del Riso, 2023.

World Green Building Council, WorldGBC Annual Report 2023-2024, WorldGBC, 2025.

Ricehouse, Manuale di posa: Sistema prefabbricato in pareti monolitiche lolla e legante idraulico naturale. RiceCyclingWall, Ricehouse srl SB, ultimo aggiornamento novembre 2024.

A. Peluchetti, M. Calderoni, A. Lodigiani, E. Giorgi, L. D'Angelo & C. Cocco, Soluzioni tecnologiche per la decarbonizzazione delle emissioni operative degli edifici, Allegato alla Roadmap Italiana, GBC Italia, 2022.

V. Marino, M. Caffi, G. Natalini, A. Lodigiani, A. Bagaini, L. Radice, C. Carani, P. Moschini, E. Tomasoni, G. Dibari, C. Wolter, S. Veronesi, M. Plazzer & R. Mattei, La finanza privata e pubblica per la decarbonizzazione del settore edilizio. Allegato alla Roadmap Italiana, GBC Italia, 2022.

V. Marino & M. Caffi, Il contesto energetico nazionale: normativa, piani e scenari di decarbonizzazione, GBC Italia, 2022.

V. Marino & M. Ciaffi, Decarbonizzare il ciclo di vita dell'ambiente costruito. Roadmap italiana per raggiungere gli obiettivi climatici al 2050, GBC Italia, 2022.

E. Ronchi, A. Barbabella, C. Montanini, F. Biganzoli, L. Saccone & D. Grossi, I 10 key tendenze sul clima in Italia. La pagella del 2024 su clima ed energia, Italy for climate (I4C), 2024.

M. Lavagna, E. Baleani, E. Gonzi, A. Bessi, A. D. Valle, S. Ganassali, S. Giorgi, M. Decio, M. Mazzetti, L. Fagandini, S. Marinelli, A. Meneghelli & M. Ojan, Life Cycle Assessment in edilizia, GBC Italia, 2019.

S. Iacovacci, Whole Life Carbon. Roadmap per la decarbonizzazione: applicazione della metodologia Whole Life Carbon e sue prospettive di sviluppo, Tesi di Laurea, Politecnico di Torino, 2023-2024.

J. Andreotti & R. Giordano, Strumenti per la decarbonizzazione. Valutazione della Whole Life Carbon (WLC) e della Circular Economy (CE) di un manufatto edilizio, 2024.

A. Evangelisti, Approcci LCC (Life Cycle Costing) e LCA (Life Cycle Assessment) congiunti per la valutazione economico-ambientale di soluzioni tecnologiche alternative, Tesi di Laurea, Politecnico di Torino, 2019-2020.

I. Quispe, R. Navia & R. Kahhat, Life Cycle Assessment of rice husk as an energy source. A Peruvian case study, *Journal of Cleaner Production*, 209, 2019, pp. 1235-1244.

O. B. Carcassi, I. Paoletti & L. E. Malighetti, Catalogo ragionato dei prodotti biogenici in Europa. Una visione anticipatoria tra potenzialità tecniche e disponibilità, *techne* 22, 2021, pp. 63-70.

M. Yuttitham, P. Thongnueaon, G. Noppradich, N. Mahamad & H. Sachdev, Carbon Footprint of Rice Straw Paper Plate. Faculty of Environment and Resource Studies, Mahidol University, Nakhon Pathom, Thailand, 14-15 novembre 2024.

M. Bertin, Verso la neutralità climatica: Progettare una transizione sostenibile ed equa, vol. 1, 2024.

V. Barbieri, M. L. Gualtieri & C. Siligardi, Wheat husk: A renewable resource for bio-based building materials. *Construction and Building Materials*, 251, 2020.

M. Vitale, Materiale naturale per l'edilizia sostenibile dai sottoprodotti agricoli, Dottorato di ricerca in Valutazione e mitigazione dei rischi urbani e territoriali, 2022.

C. Brusa, G. Dino, G. Piercarlo, M. Paolo, P. Davide, S. Battista & A. Santini, Il riso: produzione, lavorazione, tradizioni e sviluppo locale. Il Piemonte Orientale in rapporto al vasto mondo. Prospettive di ricerca a seguito dell'Anno Internazionale del Riso 2004, *GEOTEMA*, 24, 2024, pp. 86-95.

D. Kalderis, E. Anastasiou, E. Petrakis & S. Konopisi, Utilization of biochar from olive tree pruning as additive to cement mortars. *Journal of Cleaner Production*, 469, 2024.

M. A. Gómez-Casero, L. Pérez-Villarejo, E. Castro & D. Eliche-Quesada, Reinforcement of alkali-activated cements based matrices using olive pruning fibres as an alternative to traditional fibres. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 37, 2024.

A. Kilani, A. Olubambi, B. Ikotun, O. Adeleke & O. Adetayo, Structural performance of concrete reinforced with banana and orange peel fibers-a review. *Journal of Sustainable Construction Materials and Technologies*, 7(4), 2022, pp. 339-357.

## FONTI ISTITUZIONALI E NORMATIVE

United Nations, Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change, 1997.

United Nations, Paris Agreement, 2015.

United Nations, Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development, 70/1, 25 settembre 2015.

Commissione Europea, Clean Energy for All Europeans Package, Bruxelles, 2016.

Parlamento Europeo e Consiglio dell'Unione Europea, Direttiva (UE) 2018/844 del Parlamento europeo e del Consiglio del 30 maggio 2018, che modifica la direttiva 2010/31/UE sulla prestazione energetica nell'edilizia e la direttiva 2012/27/UE sull'efficienza energetica, in *Gazzetta ufficiale dell'Unione europea*, L 156/75, 19 giugno 2018.

Commissione Europea, Fit for 55: Delivering the EU's 2030 Climate Target on the Way to Climate Neutrality, COM(2021) 550 final, Bruxelles, 14 luglio 2021.

UNI EN ISO 14040:2021, Gestione ambientale – Valutazione del ciclo di vita – Principi e quadro di riferimento, Ente Nazionale Italiano di Unificazione, Milano: UNI, 2021.

UNI EN ISO 14044:2021, Gestione ambientale – Valutazione del ciclo di vita – Requisiti e linee guida, Ente Nazionale Italiano di Unificazione, Milano: UNI, 2021.

UNI EN 15978:2011, Sostenibilità delle costruzioni – Valutazione della prestazione ambientale degli edifici – Metodo di calcolo, Ente Nazionale Italiano di Unificazione, Milano: UNI, 2011.

Commissione Europea, Verso un'economia circolare: un programma "zero rifiuti" per l'Europa (COM(2014) 445 final), 2016.

## SITOGRAFIA

Come si coltiva il riso: tecniche e metodi per la coltivazione del riso, Post Almaverde bio, 23 set-tembre 2021, <https://post.almaverdebio.it/il-biologico/coltivazione-riso/> (ultimo consulto 17/06/2025).

E. Bozio, Le varietà italiane, Riso italiano, 30 ottobre 2024, <https://www.risoitaliano.eu/variet%C3%A0-italiane/> (ultimo consulto 17/06/2025).

A. Muraro, Scarti del riso in edilizia: l'innovazione che riduce gli sprechi e promuove la sostenibilità, rigeneriamo il territorio, 12 agosto 2023, <https://www.rigeneriamoterritorio.it/scarti-del-riso-in-edilizia-innovazione-che-riduce-gli-sprechi-e-promuove-la-sostenibilit%C3%A0/>, (ultimo consulto 18/06/2025).

Ente Nazionale Risi, Il risicoltore, Anno LXVII, n. 2, Febbraio 2025, [https://www.enterisi.it/upload/enterisi/gestionedocumentale/Risicoltore02-25\\_784\\_112494.pdf](https://www.enterisi.it/upload/enterisi/gestionedocumentale/Risicoltore02-25_784_112494.pdf) (ultimo consulto 17/06/2025).

Case di riso, Novello case, <https://www.novellocaseinlegno.it/bioedilizia-edilizia-ecosostenibile/case-di-riso/>, (ultimo consulto 18/06/2025).

T. Monterisi, Coibentazioni termiche: studi, dati e certificazioni sugli scarti del riso, Rice House, 5 luglio 2023, <https://blog.ricehouse.it/coibentazioni-termiche-studi-dati-e-certificazioni-sugli-scarti-del-riso/>, (ultimo consulto 18/06/2025).

Valorizzazione dei sottoprodotti, Riseria De Medici, <https://www.riso-demedici.it/derivati-riso/>, (ultimo consulto 18/06/2025).

Dal riso all'architettura, Ricehouse, <https://www.ricehouse.it/>, (ultimo consulto 19/06/2025).

Italia che Cambia, "RiceCycling Wall: una soluzione abitativa ecologica e naturale realizzata con gli scarti del riso", pubblicato il 15 ottobre 2024, <https://www.italiachecambia.org/2024/10/ricecycling-wall-sarroto-group/> (ultimo consulto il 25 aprile 2025).

Synchronia, RiceCyclingWall – Ricehouse, <https://www.synchronia.com/it/modelli-3d-bim-cad-case-di-riso/ricehouse/ricecyclingwall> (ultimo consulto il 25 aprile 2025).

Wikipedia, "Lolla", 2023, [it.wikipedia.org](https://it.wikipedia.org) (Ultimo consulto 26 aprile 2025).

Cemento Naturale Prompt, [www.cemento-naturale-prompt.it](http://www.cemento-naturale-prompt.it), (Ultimo consulto 27 aprile 2025).

## DATASET

Istituto Nazionale di Statistica (ISTAT), Coltivazioni - Data Browser. ISTAT. Disponibile su: [https://esploradati.istat.it/databrowser/#/it/dw/categories/IT1,Z1000AGR,1.0/AGR\\_CRP/DCSP\\_COLTIVAZIONI](https://esploradati.istat.it/databrowser/#/it/dw/categories/IT1,Z1000AGR,1.0/AGR_CRP/DCSP_COLTIVAZIONI) (ultimo consulto 14/06/2025).

BBSR – Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung, ÖKOB-AU.DAT – Ökobilanzdaten für Bauprodukte. Versione 2023. Disponibile su: [https://www.oekobaudat.de/no\\_cache/datenbank/suche.htm](https://www.oekobaudat.de/no_cache/datenbank/suche.htm).

Circular Ecology. (2022). Inventory of Carbon and Energy (ICE), Version 4.0. Disponibile su: <https://circularecology.com/embodied-carbon-footprint-database.html>

Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAOSTAT Statistical Database, FAOSTAT: Crops and livestock products. Disponibile su: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>, (ultimo consulto 19/06/2025).

## RINGRAZIAMENTI

*Un sentito ringraziamento a tutte le persone che mi hanno aiutata e sostenuta nel corso di questi anni di studio.*

*Un sincero grazie va alla Prof.ssa Elena Piera Montacchini, alla Prof.ssa Silvia Tedesco e al Ph.D Jacopo Andreotti per il supporto, la disponibilità e la preziosa supervisione lungo tutto il percorso di tesi.*

*Un doveroso e onesto ringraziamento all'azienda Ricehouse, e in particolare a Tiziana Monterisi, per la collaborazione, il materiale condiviso e l'opportunità di partecipare a una significativa esperienza in cantiere.*

*Un grazie sentito anche all'azienda Sarotto Group, in particolare a Mauro Sarotto, per la disponibilità dimostrata e per aver condiviso informazioni tecniche fondamentali alla comprensione del sistema costruttivo analizzato.*

*Infine, un grazie profondo va ai miei genitori e a mio fratello, che con il loro affetto e il loro sostegno costante mi hanno accompagnata in ogni passo. Un pensiero di gratitudine va anche ai miei parenti, agli amici e a tutte le persone a me più care, per esserci stati, con vicinanza e incoraggiamento in questi anni.*