

HEMP COTTAGE:

ANALISI E VALUTAZIONE DELLA
SOSTENIBILITÀ DI UN EDIFICIO
AD ALTE PRESTAZIONI AMBIENTALI.

Relatore:
Professore ANDREA BOCCO

Candidato:
ANDREA GRASSELLI

POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale in Architettura
per il Progetto Sostenibile

Anno Accademico 2019/2020

TESI DI LAUREA MAGISTRALE

HEMP COTTAGE:

Analisi e valutazione della sostenibilità di un edificio
ad alte prestazioni ambientali.



Relatore
Professore Andrea Bocco

Candidato
Andrea Grasselli

INDICE

| | |
|--------------------|----|
| <i>Abstract IT</i> | 8 |
| <i>Abstract EN</i> | 9 |
| <i>Premessa</i> | 11 |

| | |
|---|----|
| 01 - <i>Tom Woolley e Rachel Bevan</i> | 14 |
| 1.1 <i>Rachel Bevan</i> | 15 |
| 1.2 <i>Tom Woolley</i> | 19 |
| 1.3 <i>Inquadramento storico</i> | 23 |

| | |
|--|----|
| 02 - <i>Cosa rende un edificio “naturale”</i> | 28 |
| 2.1 <i>Il contesto attuale</i> | 29 |
| 2.2 <i>Verde speranza o verde inganno?</i> | 30 |
| 2.3 <i>Passivhaus</i> | 32 |
| 2.4 <i>Diffidenza nei confronti dei materiali naturali</i> | 34 |
| 2.5 <i>I principali materiali naturali nell’edilizia</i> | 35 |

| | |
|-------------------------------------|----|
| 03 - <i>Hemp Cottage</i> | 44 |
| 3.1 <i>Distribuzione</i> | 45 |
| 3.2 <i>Le fasi di realizzazione</i> | 50 |

| | |
|---|-----------|
| 04 - Elementi chiave | 60 |
| 4.1 <i>Struttura principale in legno</i> | 61 |
| 4.2 <i>Pareti perimetrali in calce-canapa</i> | 70 |
| 4.2.2 <i>Workshop a Manchester</i> | 74 |
| 4.3 <i>Copertura</i> | 78 |
| 4.4 <i>Problemi, manutenzione, degrado</i> | 80 |

| | |
|--|-----------|
| 05 - Calcolo quantità dei materiali, indicatori PEI e GWP | 86 |
| 5.1 <i>Banche dati e criteri di selezione dei valori</i> | 88 |
| 5.2 <i>Calcoli relativi alle quantità dei materiali</i> | 89 |
| 5.3 <i>Calcoli valori PEI e GWP tramite Ökobaudat</i> | 90 |
| 5.4 <i>Calcoli valori PEI e GWP tramite ICE</i> | 94 |
| 5.5 <i>Confronto con casi studio</i> | 96 |

| | |
|-------------------------|------------|
| 06 - Conclusioni | 108 |
|-------------------------|------------|

| | |
|-----------------------|------------|
| <i>Bibliografia</i> | 110 |
| <i>Sitografia</i> | 111 |
| <i>Ringraziamenti</i> | 113 |

La prima parte della tesi è stata dedicata interamente ai due architetti progettisti dell'Hemp Cottage: Tom Woolley e Rachel Bevan. Si è deciso di ripercorrere le tappe fondamentali della loro vita privata e lavorativa in modo da capire con più precisione il loro pensiero e la loro visione riguardo l'architettura. Essi credono nella sostenibilità in ambito architettonico basata sull'utilizzo di materiali di origine naturale.

Il loro operato, sia in termini teorici che pratici, mi ha spinto a fare delle riflessioni su cosa effettivamente rende un edificio "naturale", sui problemi legati ai materiali sintetici e sulla situazione connessa ai materiali naturali.

Nella seconda parte ci si è concentrati nell'analisi in dettaglio dell'Hemp Cottage: la sua distribuzione, le fasi di realizzazione, gli elementi chiave del sistema architettonico con particolare riguardo ai materiali impiegati.

Questo percorso di tesi mi ha permesso di conoscere i numerosi vantaggi legati al materiale biocomposito della calce-canapa, utilizzato per la realizzazione delle pareti perimetrali dell'edificio in questione.

Una volta analizzato l'edificio e quantificati con precisione i singoli componenti e materiali che lo compongono, si è potuti passare alla terza ed ultima parte di questo lavoro, ovvero la valutazione dell'impatto ambientale.

I parametri presi in considerazione sono stati l'*embodied energy* e il *global warming potential* prodotti dall'Hemp Cottage durante il processo di produzione e costruzione.

Infine, per avere una visione più ampia della sostenibilità del nostro edificio, si è deciso di confrontare i valori ottenuti nel nostro caso studio con quelli di altri casi.

The first part of the thesis was entirely dedicated to the two architects who designed Hemp Cottage: Tom Woolley and Rachel Bevan. It was decided to retrace the fundamental stages of their private and working lives in order to understand their thoughts and vision of architecture more precisely.

They believe in sustainability in architecture based on the use of materials of natural origin. Their work, both in theoretical and practical terms, has prompted me to reflect on what makes a building "natural", on the problems associated with synthetic materials and the situation associated with natural materials.

In the second part we focused on the detailed analysis of Hemp Cottage: its distribution, the construction phases, the key elements of the architectural system regarding the materials used.

This thesis path allowed me to get to know the numerous advantages of the biocomposite material hempcrete, used for the construction of the perimeter walls of the building in question.

Once the building had been analysed and the individual components and materials that make it up precisely quantified, it was possible to move on to the third and final part of this work, the evaluation of the environmental impact.

The parameters taken into consideration were the embodied energy and the global warming potential produced by Hemp Cottage during the production and construction process.

Finally, in order to have a wider view of the sustainability of our building, it was decided to compare the values obtained in our case study with those of other cases.

PREMESSA

L'elaborazione di questa tesi, oltre a essere stata un'occasione di formazione e apprendimento, ha contribuito fortemente a cambiare la mia visione riguardo il mondo dei materiali naturali. L'architettura di oggi dovrebbe avere, tra i suoi principali scopi, quello di rendere più sostenibile il mondo delle costruzioni riducendone l'impatto ambientale, anche attraverso un impiego maggiore di materiali naturali.

Per arrivare a ottenere ciò è però indispensabile un cambio di prospettiva: il mercato edilizio oggi è infatti ancora dominato dai materiali sintetici. Per favorire la diffusione dei materiali naturali è necessario superare la diffidenza nei loro confronti; sono spesso sottovalutati e ritenuti non in grado di garantire le prestazioni richieste. Diventa perciò necessario raccogliere, attraverso studi e ricerche, dati necessari a dimostrarne l'efficienza.

Gli architetti Tom Woolley e Rachel Bevan hanno dedicato la maggior parte della loro attività progettuale e di ricerca, promuovendo attraverso pubblicazioni, conferenze e workshop i vantaggi nell'utilizzo di materiali da costruzione naturali. Il mio caso studio è un'applicazione pratica delle loro conoscenze teoriche: un edificio realizzato con pareti massicce in calce-canapa, da qui il nome Hemp Cottage. Tale progetto ha dato loro modo di approfondire gli studi su questo materiale e al contempo li ha resi un punto di riferimento per altri professionisti.

Il mio studio ha come scopo quello di evidenziare i vantaggi dell'uso di materiali naturali da costruzione, in modo da contribuire al superamento delle diffidenze e favorire la loro diffusione.

01

***TOM WOOLLEY E
RACHEL BEVAN***

1.1 - Rachel Bevan

1.2 - Tom Woolley

1.3 - Inquadramento storico



Targhetta posta all'ingresso dell'Hemp Cottage
Fonte: Andrea Grasselli

1 - Tom Woolley e Rachel Bevan

Gli architetti Tom Woolley e Rachel Bevan, oltre ad essere compagni nella vita privata, sono soci dello studio Rachel Bevan Architects, di cui Bevan è l'architetto principale. Entrambi hanno dedicato la propria carriera lavorativa a perseguire i principi di architettura sostenibile fortemente caratterizzata dall'utilizzo di materiali naturali. Gli ideali che li accomunano sono stati messi in pratica sia dal punto di vista progettuale, in particolare da Bevan, e sia da quello della ricerca da parte di Woolley. Questa sinergia li ha resi un punto di riferimento nel campo dell'edilizia sostenibile ed attenta all'ambiente.

Nel 1991, dall'Inghilterra si trasferiscono a Crossgar, in Irlanda del Nord, in un vecchio mulino ad acqua riconvertito da loro stessi in abitazione. Lo stesso edificio diventò poco dopo la sede di Rachel Bevan Architects.

La filosofia che caratterizza i loro lavori tiene in grande considerazione il rapporto con il paesaggio e il contesto storico (urbano o rurale) cercando di unire forme tradizionali con dettagli

moderni. L'intento è quello progettare edifici di qualità che siano allo stesso tempo pratici e confortevoli, utilizzando il più possibile materiali naturali.

Nonostante i due architetti godano di un ampio bagaglio di conoscenze, il loro obiettivo è quello di continuare il lavoro di ricerca e aumentare le proprie competenze nel lavoro pratico.



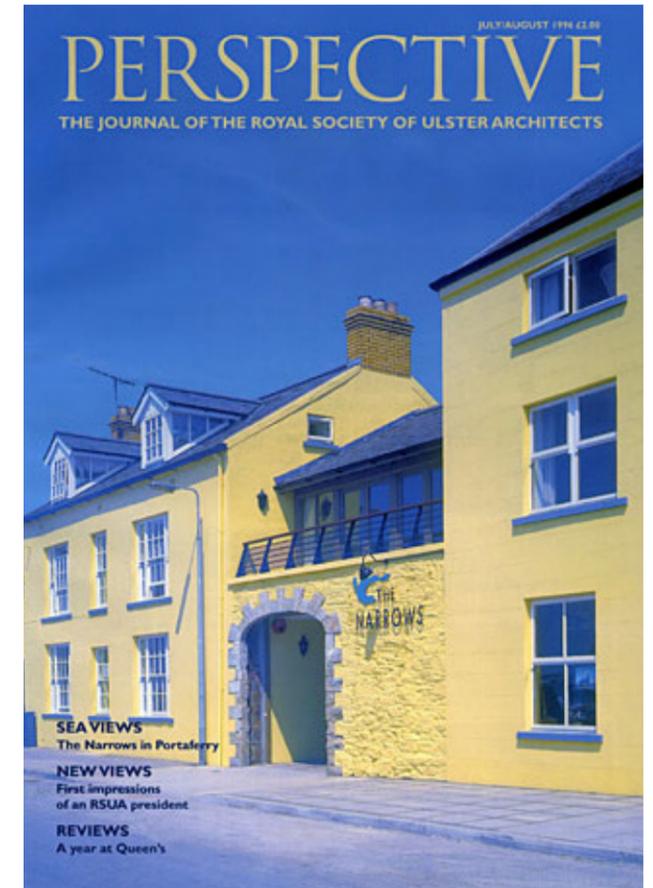
Rachel Bevan
Fonte: <https://www.homify.it/progetti/126886/the-old-mill-conversion>

1.1 - Rachel Bevan

Rachel Bevan, ha conseguito i propri studi presso l'Università di Edimburgo tra gli anni 1980-1983. Prima di continuare il proprio percorso accademico è entrata a far parte del RIBA (*Royal Institute of British Architects*) e nel suo comitato etico in rappresentanza degli studenti di architettura. Ha completato gli studi nelle Università di Edimburgo e di Strathclyde (Glasgow) per poi ottenere la qualifica da architetto nel 1988.

Prima di trasferirsi in Irlanda del Nord nel 1991, ha svolto la propria professione di architetto presso lo studio "Hull City Architects". I progetti in cui è stata coinvolta hanno riguardato la riqualificazione di un grande sito portuale abbandonato a Hull e di alcune aree residenziali degradate.

Aprì il proprio studio di architettura nel 1992 a Downpatrick, salvo poi trasferirsi a Crossgar, all'interno di un mulino ad acqua del XIX secolo riconvertito ad abitazione e a sede dello studio. Il progetto di riqualificazione è stato ad opera di Rachel Bevan Architects.



Hotel e ristorante "The Narrows"
Fonte: <http://www.bevanarchitects.com/projects/awardwinningandpublished/narrows/>

Lo studio, con i suoi progetti, ha vinto diversi premi assegnati dal RSUA (*The Royal Society of Ulster Architects*) e da RIAI (*Royal Institute of the Architects of Ireland*). Inoltre, è stato oggetto di diverse pubblicazioni, tra le quali su *Architecture Today*, *Living Design*, *Construct Ireland*, *Perspective* e *Perspectives on Architecture*.

Il primo di questi è l'hotel e ristorante "The Narrows" a Portaferry (Irlanda del Nord) completato nel 1996. Il progetto ha previsto il recupero di abitazioni esistenti e la riconversione di un fienile in abbandono, unita alla realizzazione di alcune unità ex-novo, il tutto nel cuore di un'area protetta.^[1] Vincitore del Regional Award RIAI 1997 e del Design Award RSUA 1998 è stato poi anche pubblicato in *Perspective* (Luglio 1996), *Irish Architect* (Luglio 1997) e *Perspectives on Architecture* (Aprile 1997).



Strangford Lough Yacht Club
Fonte: <http://www.bevanarchitects.com/projects/awardwinningandpublished/slyc/>



Strangford Lough Yacht Club
Fonte: <http://www.bevanarchitects.com/projects/awardwinningandpublished/slyc/>



Old Mill
Fonte: <http://www.bevanarchitects.com/projects/awardwinningandpublished/oldmill/>

Nel 1999 lo studio porta a compimento due importanti progetti.

Uno di questi è lo Strangford Lough Yacht Club a Whiterock. Il progetto prevedeva la demolizione e la sostituzione di una clubhouse situata sulle rive del Strangford Lough, ampio fiordo marino in una Zona di Conservazione Marina (MCZ). Il nuovo edificio ha utilizzato le fondazioni e il seminterrato di quello esistente, risalente agli anni '20.

Il nuovo livello del piano terra è stato innalzato di circa un metro rispetto al suo precedente livello, per mitigare il futuro innalzamento del livello del mare.^[2]

Publicato in *Architecture Today* (Gennaio 2000) e in *Perspective* (Aprile 2000).

L'altro importante progetto terminato nello stesso anno è quello dell'Old Mill a Crossgar (Irlanda del Nord). Il progetto prevedeva la creazione di due abitazioni adiacenti mediante la conversione di un mulino ad acqua abbandonato lungo il Ballynahinch River.

L'obiettivo era quello di dimostrare come le strutture di grosse dimensioni potessero essere mantenute e riutilizzate per creare una casa attraente, flessibile e confortevole, il tutto in un periodo in cui tali strutture venivano solitamente demolite e sostituite.

Il progetto architettonico ha voluto mantenere il più possibile l'involucro esistente dell'edificio in modo tale da conservare la memoria della costruzione originale.^[3]

Questo progetto ha seguito principi ecologici combinando un design moderno con il tessuto originale dell'edificio.

"A key policy on this project was to avoid wastage and every scrap of wood and stone has been reused on site in some way."^[4]

Una volta terminato è diventato la dimora degli stessi Woolley e Bevan con la propria famiglia, oltre ad essere anche sede dello studio Rachel Bevan Architects.

Vincitore del Design Award RSUA 2000, è stato inoltre oggetto di pubblicazione da parte

delle riviste *Select* (2001) e *Home Building & Renovating* (Aprile 2003).

L'interesse suscitato da questo progetto ha portato diverse emittenti televisive a riservargli uno spazio, in particolare all'interno di "About the House" di RTE 1 e Sky, in "The Right Move" della BBC 1 e in "Barn Conversions" di Homes & Renovation.

Nel 2009 viene portata a termine la costruzione dell'Hemp Cottage, a pochi metri dall'Old Mill. La particolarità di questo edificio sta nell'uso della calce-canapa come materiale per la realizzazione delle pareti perimetrali. La scelta di questo materiale biocomposito è stata presa sulla base di un'ampia ricerca fatta dagli stessi Woolley e Bevan. Inizialmente pensato come abitazione per il padre novantenne di Woolley viene ormai affittato da diversi anni come luogo di soggiorno per brevi periodi.

Anch'esso è stato oggetto di diverse pubblicazioni in riviste come *Living Design* (Maggio 2010), *Down Recorder* (Aprile 2014) e *Sunday Life* (Luglio 2014).

È stato inoltre realizzato un video pubblicato dal canale YouTube "Sustain and Build" in cui vengono mostrate le prime fasi di realizzazione del cottage, con particolare riguardo a quelle legate alle pareti in calce-canapa.^[5]

Oltre a quelli appena citati, Rachel Bevan Architects si è occupato di progetti legati a differenti destinazioni d'uso;

Un esempio è la Low-energy Show-House realizzata a Belfast nel 2006. Caso dimostrativo di abitazione a basso consumo energetico costruita all'interno dello spazio espositivo King's Hall Plan Expo, lavorando con Action Renewables, Kingspan Century e altri sponsor. Questo lavoro ha dato la possibilità di dimostrare l'alto isolamento e la tenuta all'aria di una casa realizzata utilizzando tipologie di produzione di energia alternative.

Rachel Bevan ha progettato sia abitazioni private realizzate ex-novo situate in Irlanda del Nord, Repubblica d'Irlanda, Galles e Inghilterra, sia di conversione di vecchi edifici come ad



Old Mill - Interno
Fonte: <http://www.bevanarchitects.com/projects/awardwinningandpublished/oldmill/>

esempio mulini ad acqua, mulini a vento ed ex fabbriche.

Lo studio Rachel Bevan Architects è anche coinvolto nell'insegnamento e nel tutoraggio degli studenti di architettura delle università UCLAN (*University of Central Lancashire*) e QUB (*Queen University of Belfast*).

La stessa Rachel Bevan è attualmente (2020) docente nel corso di architettura alla University of Ulster di Belfast. Durante la mia permanenza in Irlanda del Nord mi è stato permesso partecipare di a un suo laboratorio sulla calce-canapa insieme ad alcuni dei suoi studenti.

Oltre ad essere l'architetto leader del suo studio e docente universitaria, ha ricoperto anche il ruolo di membro del Ministerial Advisory Group for Architecture, ente focalizzato sul Design Review di importanti progetti, con l'obiettivo di influenzare la politica e la qualità del design in Irlanda del Nord. ^[6]

Ex membro di diversi enti professionali e governativi, tra cui: RSUA Council Convenor,

Historic Building Council e Architects Registration Council UK.

Una parte significativa del lavoro degli architetti Woolley e Bevan è legata a ricerche e pubblicazioni finanziate da enti ed associazioni nell'ambito dell'architettura e dell'edilizia.

Rachel Bevan è inoltre co-autrice di: *Hemp Lime Construction, a guide to building with hemp lime composites* attualmente utilizzato dal Building Control come principale e autorevole libro tecnico sulle costruzioni in canapa-calce.



Tom Woolley
Fonte: <https://urbantoronto.ca/news/2014/10/ryerson-architecture-public-lecture-tom-woolley-rachel-bevan-architects>

1.2 - Tom Woolley

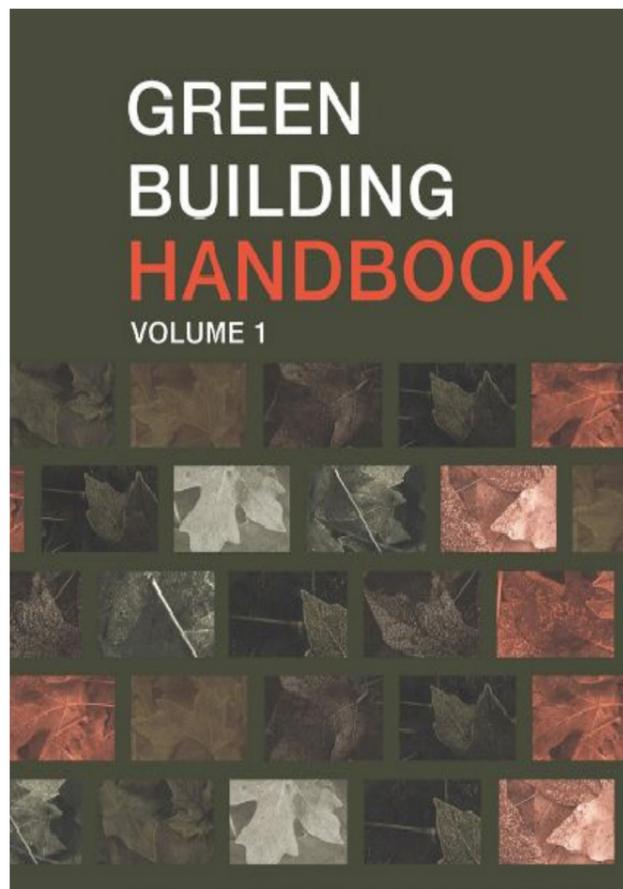
Thomas Adrian Woolley, o più semplicemente Tom Woolley, si è laureato in architettura all'Università di Edimburgo. Ottenuta l'abilitazione da architetto, inizia la propria carriera dedicandosi principalmente all'attività pratica in Scozia e a Londra, specializzandosi in interventi di recupero di edifici. Nel 1984 consegue il dottorato di ricerca all'Oxford Polytechnic intraprendendo così un percorso accademico e di ricerca. Professore e anche direttore di numerose università del Regno Unito, tra cui la Queens University di Belfast dal 1991 al 2007, Tom Woolley ha dedicato molto del proprio lavoro alla redazione e allo sviluppo di ricerche, articoli e libri nell'ambito dell'architettura sostenibile. Come docente, ha seguito diversi dottorati di ricerca ed è stato nominato esaminatore esterno in numerose università inglesi ed estere, ad esempio ad Helsinki e a Louvain-la-Neuve (Belgio).

È stato Visiting Professor di Architettura presso il Centre for Alternative Technology Graduate School of the Environment in Galles (2008-

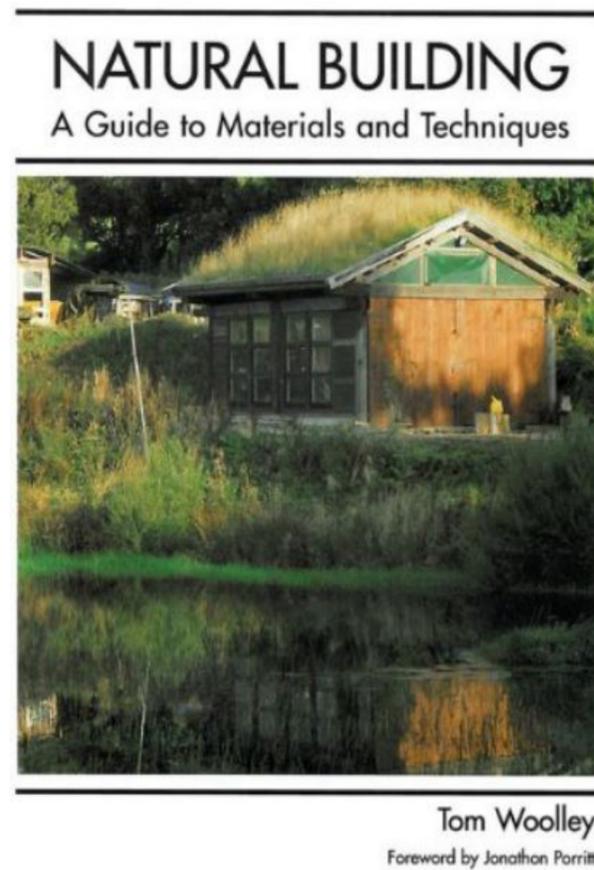
2013), la University of Central Lancashire (2009-2013) e ad Umeå in Svezia (2010-2012). Professore di Sustainable Rural Architecture presso il Countryside and Communities Research Institute della University of Gloucestershire (2009-2012). Attualmente ricopre il ruolo di visiting professor alla Anglia Ruskin University a Chelmsford (UK).

Architetto e consulente ambientale associato allo studio Rachel Bevan Architects. Ricopre inoltre i ruoli di; consulente esperto di edilizia sostenibile per ECOS (Bruxelles), consulente per l'edilizia in calce-canapa per la Irish Hemp Co-operative; è membro del UK Indoor Environment Group. Grazie alla sua notevole esperienza, viene spesso invitato come oratore alle conferenze che si occupano di edilizia sostenibile. ^[7]

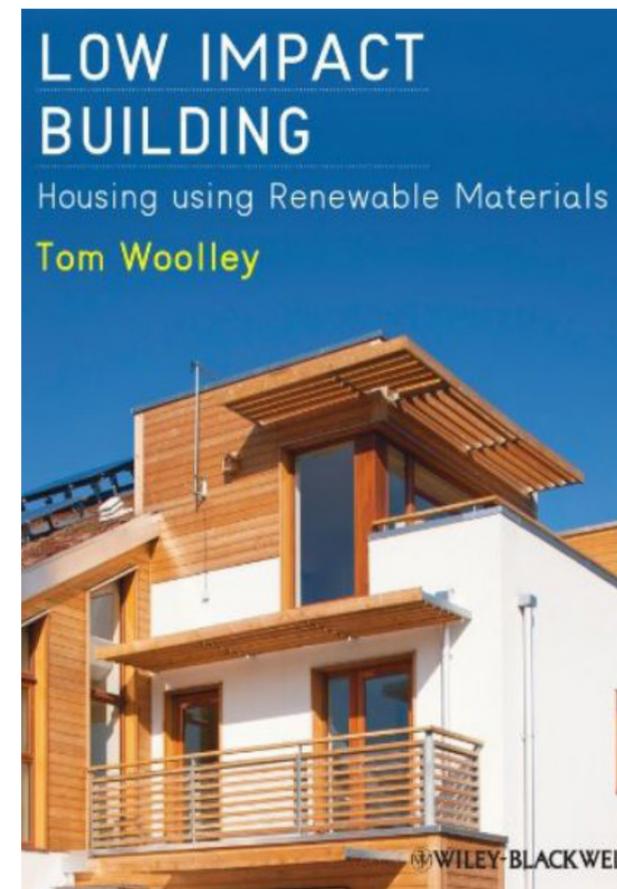
È stato presidente del Northern Ireland Building Regulations Advisory Committee, organo statutario istituito per consigliare il dipartimento



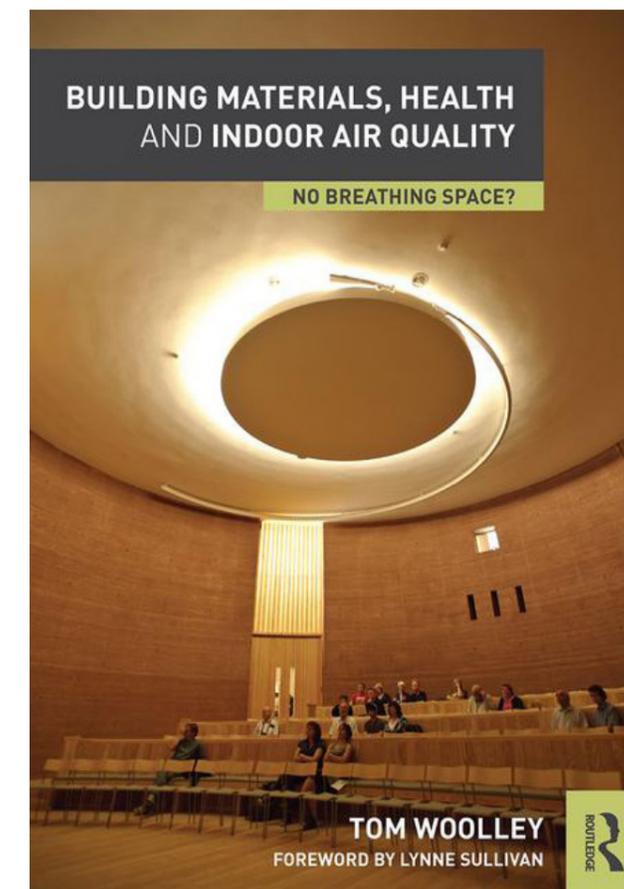
Green Building Handbook - Tom Woolley, Sam Kimmins, Rob Harrison, Paul Harrison
Fonte: <http://www.bevanarchitects.com/research/publications/>



Natural Building - Tom Woolley
Fonte: <http://www.bevanarchitects.com/research/publications/>



Low Impact Building - Tom Woolley
Fonte: <http://www.bevanarchitects.com/research/publications/>



Building materials, Health and Indoor Air Quality - Tom Woolley
Fonte: <http://www.bevanarchitects.com/research/publications/>

sulle modifiche del Building Regulations.^[8] Membro del NI Ministerial Advisory Group for Architecture, il quale ha come obiettivo quello di garantire una miglior gestione della spesa pubblica e allo stesso tempo di orientare gli investimenti verso il miglioramento del paesaggio e della qualità della vita attuale per le generazioni attuali e quelle future.^[nota 9]

L'attività politica di Woolley ha incluso un forte impegno nel movimento sindacale con l'adesione al NALGO (*The National and Local Government Officers' Association*), uno dei maggiori sindacati che rappresenta per lo più i "colletti bianchi". Membro anche dell'ASTMS (*The Association of Scientific, Technical and Managerial Staffs*), sindacato britannico a sostegno della comunità scientifica.^[10]

Ha fondato l'Association of Community Technical Aid Centres che ha fornito consulenza professionale ai gruppi della classe operaia ed è stato un attivista sulle condizioni abitative e la povertà energetica.

Tom Woolley è autore di numerose pubblicazioni sull'edilizia abitativa e l'architettura "verde"; tra le più importanti *Green Building Handbook, Volume 1 e 2*, *Natural Building* (Crowood Press, 2005) e *Hemp and Lime Construction* (BRE/IHS Press, 2008). Quest'ultimo, scritto insieme a Rachel Bevan, è il risultato di uno studio finanziato da DEFRA (*Department for Environment Food & Rural Affairs*) e commissionato dal National Non-Food Crops Centre (NNFCC). Il libro fornisce numerose informazioni pratiche sui materiali, sulla progettazione e sulle tecniche costruttive legate alla calce-canapa, include inoltre casi studio e dettagli di progettazione. Le informazioni raccolte da Woolley e Bevan per la redazione di questo libro hanno dato loro modo di intraprendere la progettazione e la realizzazione dell'Hemp Cottage.

Alcuni degli argomenti cardine su cui Woolley basa i propri libri sono ad esempio l'impiego di materiali naturali e a basso impatto ambientale nell'edilizia contemporanea, mettendo inoltre in luce i problemi causati da materiali sintetici e a

base petrolchimica sulla salute e sul benessere degli occupanti. A tal proposito sono da segnalare i libri *Low Impact Building: Housing Using Renewable Materials* (Wiley Blackwell, 2013) e *Building Materials, Health and Indoor Air Quality: No Breathing Space* (Routledge, 2017).

Woolley si è sempre dedicato alla ricerca incentrata su materiali da costruzione sostenibili e rinnovabili a base biologica, in particolar modo paglia e calce-canapa. I suoi progetti di ricerca sono stati finanziati nell'ambito dei programmi dell'UE, del Technology Strategy Board, dell'Energy Saving Trust, dell'EPA (Environmental Protection Agency) irlandese e del Carbon Trust.^[7]

Le ricerche riguardanti la calce-canapa, ovvero "Hemp construction" finanziata dalla Leitrim Enterprise nel 2002 e "Hemp Lime Construction" sostenuta invece da DEFRA e NNFCC nel 2005-2006, hanno avuto come risultato la stesura del libro *Hemp Lime Construction*.

Durante la mia permanenza in Irlanda ho avuto la possibilità di visitare il Rediscovery Centre a Dublino, la cui progettazione e realizzazione ha coinvolto Woolley e Bevan nel ruolo di "Environmental Consultant".

Il Rediscovery Centre è la sede del Centro Nazionale per l'Economia Circolare in Irlanda. Un movimento creativo che mette in contatto persone, idee e risorse per sostenere una vita più verde e a basse emissioni di carbonio.^[11]

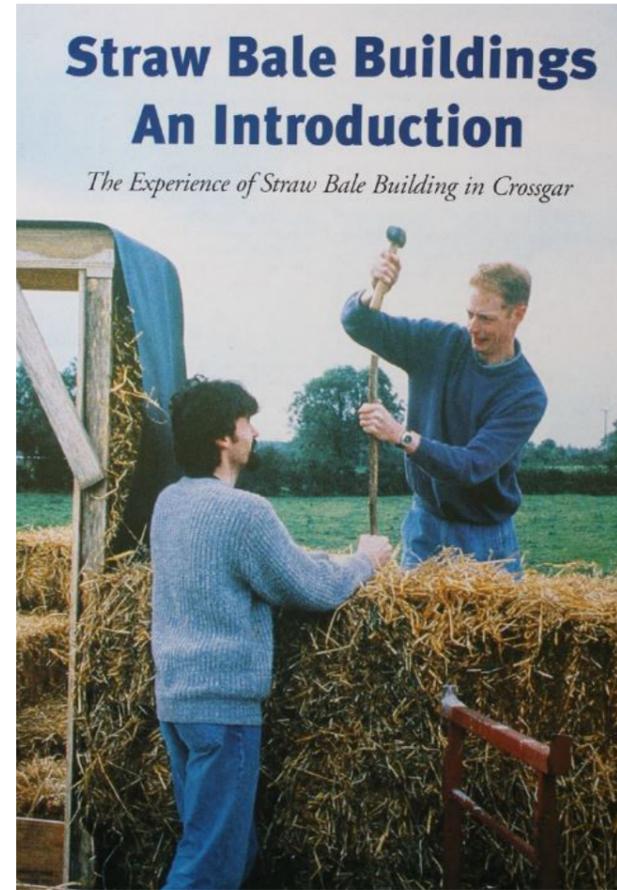
Il progetto si inserisce in un importante piano di riqualificazione, iniziato nei primi anni del nuovo millennio, dell'intero quartiere di Ballymun, della periferia a nord di Dublino. Il centro si trova nella Boiler House, un'antica centrale termica in disuso dal 2010.

L'edificio è stato sottoposto a un importante rinnovamento ed è ora una struttura all'avanguardia con un'attenzione particolare alla sostenibilità e al riutilizzo; dotato di sistema di recupero dell'acqua piovana, pannelli fotovoltaici, parete verde e orti. I principi dell'economia circolare sono stati applicati già



Rediscovery Centre - Dublino
Fonte: Andrea Grasselli

in fase di progettazione cercando di mantenere il più possibile i materiali originali e di riutilizzare quelli ricavati dalla parziale demolizione. Il contributo di Woolley e Bevan in questo progetto si riscontra nella scelta del materiale per la realizzazione di due delle quattro pareti perimetrali del piano superiore, ovvero la calcecanapa.



Straw Bale Buildings: An Introduction - Tom Woolley
Fonte: <http://www.bevanarchitects.com/research/publications/>

1.3 - Inquadramento storico

Nel 1991 gli architetti Woolley e Bevan si trasferirono in Irlanda del Nord spinti da opportunità lavorative. La loro posizione nei confronti del conflitto viene messa in mostra quando, nel 1994, insieme ad altri genitori contribuirono a fondare la Cedar Integrated Primary School a Crossgar; affinché i loro figli venissero educati in un'atmosfera in cui, indipendentemente dalla religione, (dalla razza) o dall'identità culturale, i bambini imparassero e crescessero insieme in amicizia e all'insegna dell'uguaglianza.^[12]

Inoltre, nel 1996, Rachel Bevan Architects ha ricevuto l'incarico di creare il blocco destinato ad ospitare l'asilo nido. Questa è stata l'occasione giusta per le prime sperimentazioni nell'utilizzo di materiali rinnovabili; un'aula utilizza la paglia. L'obiettivo era quello di creare un ambiente scolastico sicuro, piacevole e non tossico. Per ottenere buoni livelli di qualità dell'aria interna, si è cercato di optare il più possibile per materiali naturali:

- "to avoid off-gassing of health damaging



A Belfast girl chats to a soldier out patrolling the streets in the Falls Road area - 13/5/81
Fonte: Central Press/Getty Images)

substances which naturally occur with synthetic paints, natural paints were specified for internal walls, internal ceilings and external fascias and plinths.

- *natural paints were also specified for wood finishes for internal and external doors.*
- *natural rubber flooring materials were also specified, to avoid off-gassing and environmental concerns associated with vinyl.*"

^[13]

Note

[1] <http://www.bevanarchitects.com/projects/awardwinningandpublished/narrows/> [03/08/20]

[2] <http://www.bevanarchitects.com/projects/awardwinningandpublished/slyc/> [03/08/20]

[3] <http://www.bevanarchitects.com/projects/awardwinningandpublished/oldmill/> [03/08/20]

[4] Tom Woolley, Sam Kimmins, Rob Harrison, Paul Harrison, *Green Building Handbook: Volume 1: A Guide to Building Products and their Impact on the Environment*, ECRA, Manchester, 1997, pp. 28-29-30.

[5] <https://www.youtube.com/user/sustainandbuild/about> [31/08/2020]

[6] <https://www.communities-ni.gov.uk/articles/architecture-and-built-environment> [31/08/2020]

[7] <https://enrichedearth.org/professor-tom-woolley-architectural-consultant-for-cauldron-community/> [20/07/20]

[8] <https://www.finance-ni.gov.uk/articles/northern-ireland-building-regulations-advisory-committee> [22/07/20]

[9] <https://www.communities-ni.gov.uk/articles/architecture-and-built-environment> [22/07/20]

[10] https://en.wikipedia.org/wiki/Association_of_Scientific,_Technical_and_Management_Staffs [31/08/2020]

[11] <http://www.rediscoverycentre.ie/about-us/> [31/07/20]

[12] <https://www.cedarrips.co.uk/integration> [24/06/2020]

[13] <https://www.hertfordshire.gov.uk/microsites/building-futures/a-sustainable-design-toolkit/technical-modules/air/case-studies/use-of-natural-materials-cedar-integrated-primary-school-crossgar-county-down.aspx> [04/08/20]

02

COSA RENDE UN EDIFICIO “NATURALE”

2.1 - Il contesto attuale

2.2 - Verde speranza o verde inganno?

2.3 - Passivhaus

2.4 - Diffidenza nei confronti dei materiali naturali

2.5 - I principali materiali naturali nell'edilizia



Villaggio nelle Isole Fær Øer
Fonte: İlhan Eroglu

2 - Cosa rende un edificio “naturale”

L'idea di edificio “naturale”, maturata durante questo percorso, è strettamente connessa all'utilizzo di materiali naturali. L'affermazione potrà risultare di primo impatto scontata, tuttavia molto frequentemente un edificio viene considerato “ecologico” per il suo aspetto esteriore o per l'applicazione di sistemi per l'efficientamento energetico. Queste caratteristiche spesso ingannano l'occhio meno esperto e senza un'attenta analisi si rischia di attribuire dei riconoscimenti non del tutto legittimi. Di frequente l'efficienza energetica viene confusa con la sostenibilità ambientale, mentre i due concetti, se pur collegati tra loro, non coincidono. Un edificio realizzato utilizzando materiali naturali non trattati chimicamente o pesantemente trasformati avrà un impatto minore sull'ambiente grazie alla maggior sostenibilità in termini di energia inglobata ed emissioni climalteranti. Al contrario, un edificio convenzionale, se pur con sofisticati sistemi energetici attivi, avrà alti livelli di emissioni e di energia grigia dovuti, ad esempio, all'impiego di materiali di origine petrolchimica.

Inoltre, gli edifici “naturali” possono offrire elevate prestazioni energetiche in modo passivo, senza l'utilizzo di costosi impianti di ventilazione o di riscaldamento.



Inquinamento prodotto da una centrale elettrica a carbone in Cina
Fonte: Raffaello De Vito

2.1 - Il contesto attuale

Oggi sembra essere ormai diffusa una consapevolezza dei principali problemi ambientali; tra i quali l'inquinamento atmosferico, delle acque e del suolo, il cosiddetto “effetto serra” e il “buco” dell'ozono. Questi problemi hanno come comune causa l'uomo che, con l'uso eccessivo e inappropriato delle risorse, ha compromesso quasi inesorabilmente il proprio habitat.

Il mondo dell'edilizia deve partecipare a un necessario cambiamento di paradigma, in quanto ha un grande impatto sull'ambiente. Un'architettura sostenibile dovrebbe progettare e costruire edifici nel rispetto dell'ambiente.

I materiali impiegati nell'edilizia convenzionale fanno largo uso di combustibili fossili e sono per la maggior parte non rinnovabili; gli edifici “naturali” offrono pertanto un'alternativa, basandosi sull'utilizzo di materiali naturali a basso impatto ambientale grazie anche alle ridotte quantità di energia inglobata. Le persone che mostrano interesse nelle tecniche costruttive naturali condividono una preoccupazione nei confronti dell'ambiente.



Cartello di protesta
Fonte: Kevin Snyman/Pixabay CCO

Molti di loro sono auto-costruttori che cercano di fare qualcosa di diverso. Sarebbe invece necessario che l'industria edilizia nel suo complesso adottasse tecniche e materiali più naturali, prima che la crisi ambientale non peggiori in maniera irreversibile. Purtroppo, questa risulta piuttosto conservatrice e sembra credere che senza colle tossiche, prodotti chimici o involucri di plastica, gli edifici non possano funzionare adeguatamente. Un altro aspetto che dovrebbe indirizzare a una scelta più naturale è l'obiettivo di garantire un maggior benessere interno degli occupanti grazie alle proprietà dei materiali naturali. Gli edifici “naturali” sembrano essere ancora a uno stadio sperimentale; c'è ancora molto lavoro da fare per dimostrare che i metodi e i materiali adottati siano affidabili e duraturi.



“Bosco Verticale” - Milano
<https://www.stefano-boeriarchitetti.net/project/bosco-verticale/>



“Bosco Verticale” - Milano
<https://www.stefano-boeriarchitetti.net/project/bosco-verticale/>



“Bosco Verticale” - Milano
<https://www.stefano-boeriarchitetti.net/project/bosco-verticale/>

2.2 - Verde speranza o verde inganno?

“For some, natural building means incorporating only a few natural materials into buildings that are otherwise conventional in concept. The basic building may be full of concrete, aluminium, steel and plastic, but some natural materials are added to give a natural impression, or to suggest that sustainability criteria are being met.”^[1]

Questa citazione mette in luce quanto spesso si possa essere ingannati dalle apparenze. Una delle tecniche più usate per far apparire un progetto più in armonia con l'ambiente è l'applicazione di vegetazione nei prospetti o nella copertura. Ovviamente la soluzione in sé non va criticata in quanto rappresenta quantomeno una propensione ad aumentare il verde in città, ma in molti casi si tratta di pura apparenza. Questa scelta risulta quasi del tutto inutile di fronte alla quantità di emissioni prodotte durante l'intero ciclo di vita dell'edificio.

Un possibile esempio di questo atteggiamento superficiale e propagandistico potrebbe

essere il complesso conosciuto come “Bosco Verticale” progettato da Boeri Studio, a Milano. La caratteristica principale di questo complesso è la presenza di numerose specie di piante distribuite sui prospetti. Secondo i progettisti,

“La vegetazione apporta numerosissimi effetti benefici alle due torri e all'ambiente urbano circostante, sia sotto il profilo ambientale che sotto quello climatico. Il Bosco Verticale, infatti, contribuisce alla costituzione di un microclima che genera umidità, filtra le polveri sottili (o ne devia il percorso), attenua notevolmente l'inquinamento acustico, depura l'aria sottraendo CO₂ dall'atmosfera ed emettendo O₂, protegge dall'irraggiamento solare attraverso l'ombreggiatura fogliare e ripara dal vento, attraverso l'azione frangivento delle fronde.”^[2]

Questa scelta progettuale, unita a generatori eolici sul tetto e impianti fotovoltaici sulle facciate, ha permesso al complesso di ricevere numerosi riconoscimenti. Tuttavia, le stratigrafie delle pareti mostrano l'impiego di materiali ad

alti embodied energy ed embodied carbon:

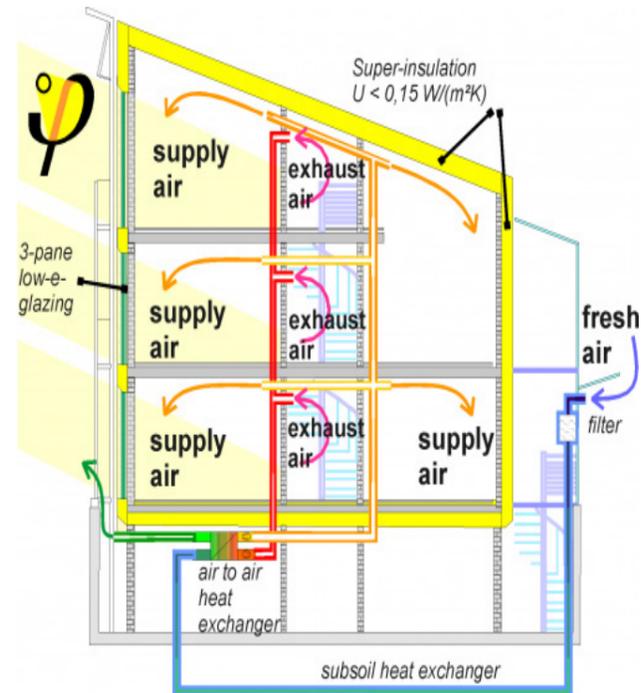
“Isolante termico preaccoppiato con polistirene estruso (10,0 cm), blocchi di laterizio alleggerito in pasta (25,0 cm) intonacato (1,5 cm), intercapedini d'aria e facciata a schermo avanzato in lastre in gres porcellanato e una sottostruttura composta da montanti in alluminio. Analogamente, le pareti che separano il vano scala con le unità abitative presentano una muratura a cassetta, con laterizio alleggerito in pasta (8,0 cm) con placcatura in lastre di cartongesso (1,5 cm), malta di rinzafo (1,0 cm), pannelli isolanti minerali (80% di vetro riciclato, 6,0 cm) e paramento murario in laterizio porizzato (12,0 cm) intonacato (EI 120, 3,0 cm).”^[3]

Tutti i prospetti sono caratterizzati dai balconi sfalsati. Questi sono stati predisposti per ospitare alberi alti fino a 9 metri, e sono stati realizzati con una soletta in calcestruzzo armato di 28 centimetri e un oggetto fino a più di 3 metri. Viene perciò da pensare che gli sforzi fatti per

mitigare le emissioni nocive durante la vita degli edifici non possano compensare la quantità di CO₂ emessa durante la loro produzione.



Passive House a Darmstadt
Fonte: https://passiv.de/former_conferences/Kran/First_Passive_House_Kranichstein_en.html



Passive House a Darmstadt
Fonte: https://passiv.de/former_conferences/Kran/First_Passive_House_Kranichstein_en.html



Passive House a Darmstadt
Fonte: https://passiv.de/former_conferences/Kran/First_Passive_House_Kranichstein_en.html

2.3 - Passivhaus

Un altro modello ritenuto esempio di sostenibilità è quello della Passivhaus.

“The PH concept advocates extremely high levels of airtightness and high levels of insulation in an effort to achieve very high standards of energy efficiency.”^[4]

Questo significa che l’obiettivo di sostenibilità viene perseguito attraverso l’efficienza energetica durante la vita utile dell’edificio (fase B); la fase A non è considerata. La maggior parte delle Passivhaus è realizzata usando materiali isolanti di origine petrolchimica (il che favorisce il supporto del modello Passivhaus da parte delle industrie di materiali sintetici). Visti gli elevati livelli di tenuta all’aria che si vogliono raggiungere, diventa quasi indispensabile (e spesso addirittura obbligatorio) l’installazione di un sistema di ventilazione meccanica. Inoltre, l’elevata tenuta all’aria comporta rischi per la salute. Tom Woolley ha osservato che:

“it has not been possible to find anything in the PH standards about safeguarding occupants from indoor pollution emissions such as formaldehyde, VOCs and other hazardous materials.”^[4]

I sistemi di ventilazione meccanica risultano spesso problematici; gli occupanti riscontrano difficoltà nella gestione dell’impianto o rischiano di non capirne bene il funzionamento. Un altro fattore che influisce negativamente è il rumore prodotto, motivando gli utenti a mantenerlo spento. Inoltre, il costo della manutenzione è considerevole, i filtri devono essere cambiati regolarmente, o quantomeno puliti. Inoltre, Woolley afferma ancora che:

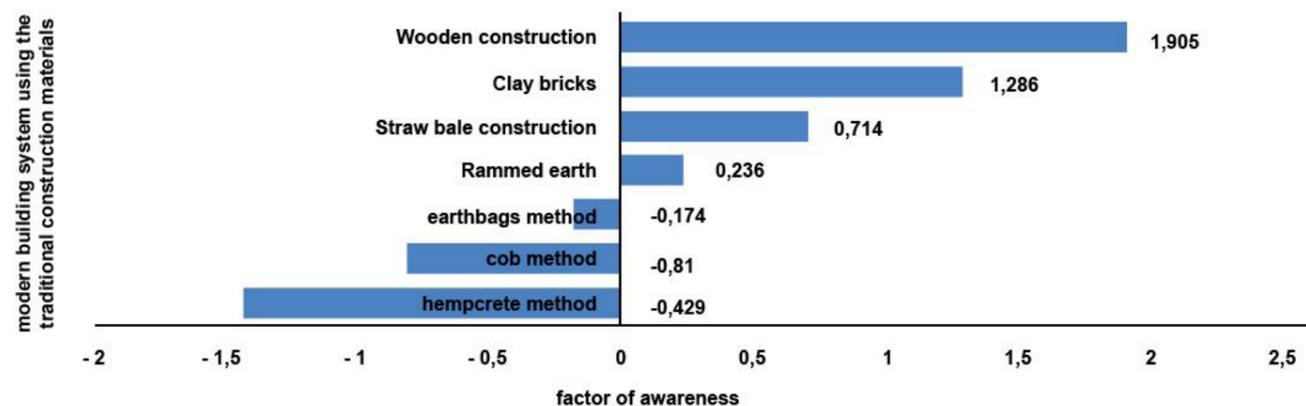
“The majority of PH projects use petrochemical and synthetic materials for insulation and PH advocates claim that mechanical ventilations systems are adequate to maintain good IAQ, despite possible emissions from these materials.”^[5]

Gli autori dell’articolo “Indoor air quality in passive and conventional new houses in Sweden” hanno preso come campione per i loro studi 20 nuove Passivhaus e 21 nuove abitazioni costruite in modo convenzionale tra il 2012 e il 2014 riscontrando livelli più alti di VOC (Volatile Organic Compounds) nel primo gruppo.^[6]

Lo studio “A Natural Ventilation Alternative to the Passivhaus Standard for a Mild Maritime Climate” condotto da Paola Sassi, ha preso in considerazione due appartamenti a Cardiff, entrambi costruiti secondo gli standard Passivhaus, uno ventilato naturalmente mentre l’altro tramite ventilazione meccanica. I dati hanno evidenziato come il primo abbia utilizzato meno energia di quella prevista dal Passivhaus Planning Package (PHPP):

“the comfort, air quality and energy impacts of MVRH versus natural ventilation and reviews the post-occupancy monitoring data of two flats in Cardiff designed to Passivhaus standards,

one of which had been operated as a naturally ventilated building rather than with MVRH. The energy consumption of this free-running flat was significantly lower (36kWh primary energy/m²a) than the PassivHaus Planning Package modelling had predicted (93 kWh primary energy/m²a) with no adverse effects on occupant comfort, air quality or excessive humidity, and advantages of lower capital cost and maintenance.”^[7]



Factor of respondents' awareness about the modern building system using the traditional construction material
 Fonte: The Use Potential of Traditional Building Materials for the Realization of Structures by Modern Methods of Construction - Marcela Spišáková, Daniela Mačková

2.4 - Diffidenza nei confronti dei materiali naturali

Attualmente i materiali naturali sono oggetto di sospetti da parte di molti e ricoprono un ruolo marginale in edilizia. Una domanda maggiore di questi materiali comporterebbe un aumento significativo nella domanda di materie prime che a sua volta potrebbe significare un rallentamento nella catena di approvvigionamento o un aumento dei prezzi. Tuttavia, la maggior parte dei materiali naturali si basa su risorse ampiamente disponibili, come il legno e altri prodotti vegetali estraibili da piante che possono essere facilmente coltivate. Le materie prime hanno generalmente prezzi bassi. Quello che manca in molti Paesi sono politiche che incoraggino a investire su produzione e lavorazione di materiali non dannosi e rinnovabili, a discapito di quelli sintetici. A riguardo, K. Geiser afferma che:

“The prospects for bio-based materials and processes, and an economy based more on renewable and recyclable materials, are dimmed by the current dominance of petrochemical materials. Without near term

commercial prospects, market interest and private investment are likely to be slow to encourage these alternative materials and pathways.”^[8]

Nonostante i problemi legati ai materiali sintetici, come i maggiori livelli di emissioni dannose o di embodied energy, c'è ostilità nei confronti dei materiali naturali ed ecologici nell'industria edile convenzionale. Questo anche a causa di convinzioni quali:

- minore durabilità
- maggiore costo
- difficoltà di impiego
- mancanza di approvazioni e certificazioni
- difficoltà di reperimento.

Alcune di queste affermazioni sono almeno in parte vere, come ad esempio che sono più difficili da reperire e che hanno un costo maggiore, questi fattori sono però largamente dovuti a un mercato edilizio già saturo di materiali sintetici. Molti materiali isolanti naturali come la lana



Bamboo
 Fonte: <https://thebamboosocial.com/page/>



Mattoni in terra cruda
 Fonte: <http://www.makepeopledo.it/workshop/a-terra>

2.5 - I principali materiali naturali nell'edilizia

“A sensible balance between old and new, manufactured and natural is probably the basis for building so that we get the best of traditional and unprocessed materials and the best of clever technical innovation.”^[10]

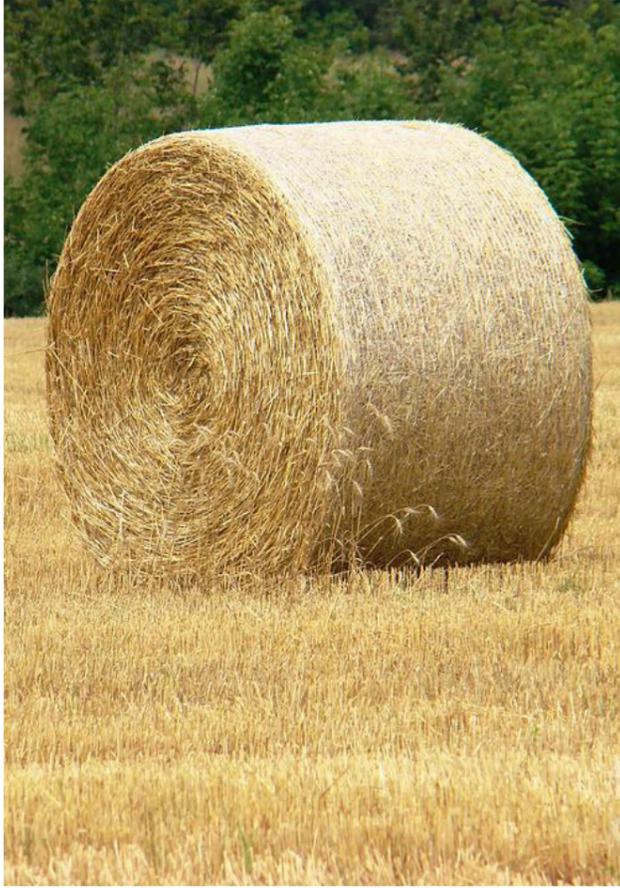
Queste poche righe rispecchiano il pensiero di molti sostenitori dei materiali naturali. La volontà di scegliere questi materiali è una forma di rifiuto della globalizzazione di ogni cosa, a favore di una via più locale. Questo non significa però ripudiare i molti materiali moderni di cui oggi si dispone, in quanto capaci di garantire prestazioni elevate.

La società nel suo insieme e i singoli individui dovrebbero saper bilanciare le proprie scelte, discernendo quando sia meglio adottare soluzioni a basso impatto ambientale e quando invece sia preferibile utilizzare tecniche meno sostenibili ma più adatte per quella determinata situazione. Consapevoli del fatto che i materiali naturali non siano adatti a ogni situazione e pertanto non in grado di soppiantare completamente l'utilizzo dei materiali sintetici,

di pecora, la fibra di legno e la canapa sono ricavati da risorse naturali che non hanno un prezzo elevato, e se la domanda aumentasse, il prezzo potrebbe diminuire.

Un sondaggio, dal titolo “Identifying barriers to the use of natural building materials in mainstream construction in Ireland” realizzato da C. Bristow, utilizzando un campione composto da architetti e altre figure dell'industria edile in Irlanda, ha confermato una bassa predisposizione all'uso dei materiali naturali dovuta più ai pregiudizi che all'esperienza. I problemi maggiormente citati sono stati il costo eccessivo e il timore riguardo l'affidabilità; inoltre, circa un terzo degli intervistati non credeva che l'impatto ambientale e la salvaguardia della salute fosse importante quanto il consumo di energia e le emissioni di CO₂.^[9]

Uno degli obiettivi principali nella promozione dei materiali naturali è far comprendere i loro vantaggi, non solo in termini ambientali, ma anche di efficienza.



Straw bale
Fonte: Margaret Hamilton



Catasta di legna
Fonte: <https://pixabay.com/it/photos/catasta-di-legna-tronchi-d-albero-2180550/>

l'obiettivo è che diventino però un'alternativa concreta.

È difficile convincere i professionisti del fatto che i materiali naturali possono avere prestazioni termiche migliori di quelli sintetici, in quanto questo comporterebbe un profondo cambio di mentalità. A volte, le prestazioni dichiarate dai produttori di isolanti sintetici sono conformi ai requisiti dei regolamenti edilizi ma nella realtà non soddisfano le attese.

I materiali naturali non sono solo migliori per la salute, visti i bassi livelli di emissioni dannose, ma sono anche più efficaci nella gestione della qualità dell'aria interna.

Materiali isolanti naturali e sintetici si differenziano riguardo al loro comportamento all'acqua in ogni sua forma, in particolare il vapore acqueo: i materiali sintetici sono spesso più leggeri ma non assorbono l'acqua mentre quelli naturali, grazie alla loro igroscopicità e se appropriatamente installati nell'edificio, sono capaci di assorbire l'umidità per poi rilasciarla in un secondo momento. Inoltre, il peso maggiore

si rivela essere utile per garantire un accumulo termico.

“As a result, natural materials can help to provide greater comfort in buildings, reducing the need to call on energy-consuming solutions such as heating and air conditioning. These benefits are not recognized in regulatory systems which simply rely on crude U values, and thus designers of natural buildings may struggle with the regulatory and assessment systems which may predict a poorer performance for a natural material than would actually apply in practice.”

[11]

Note

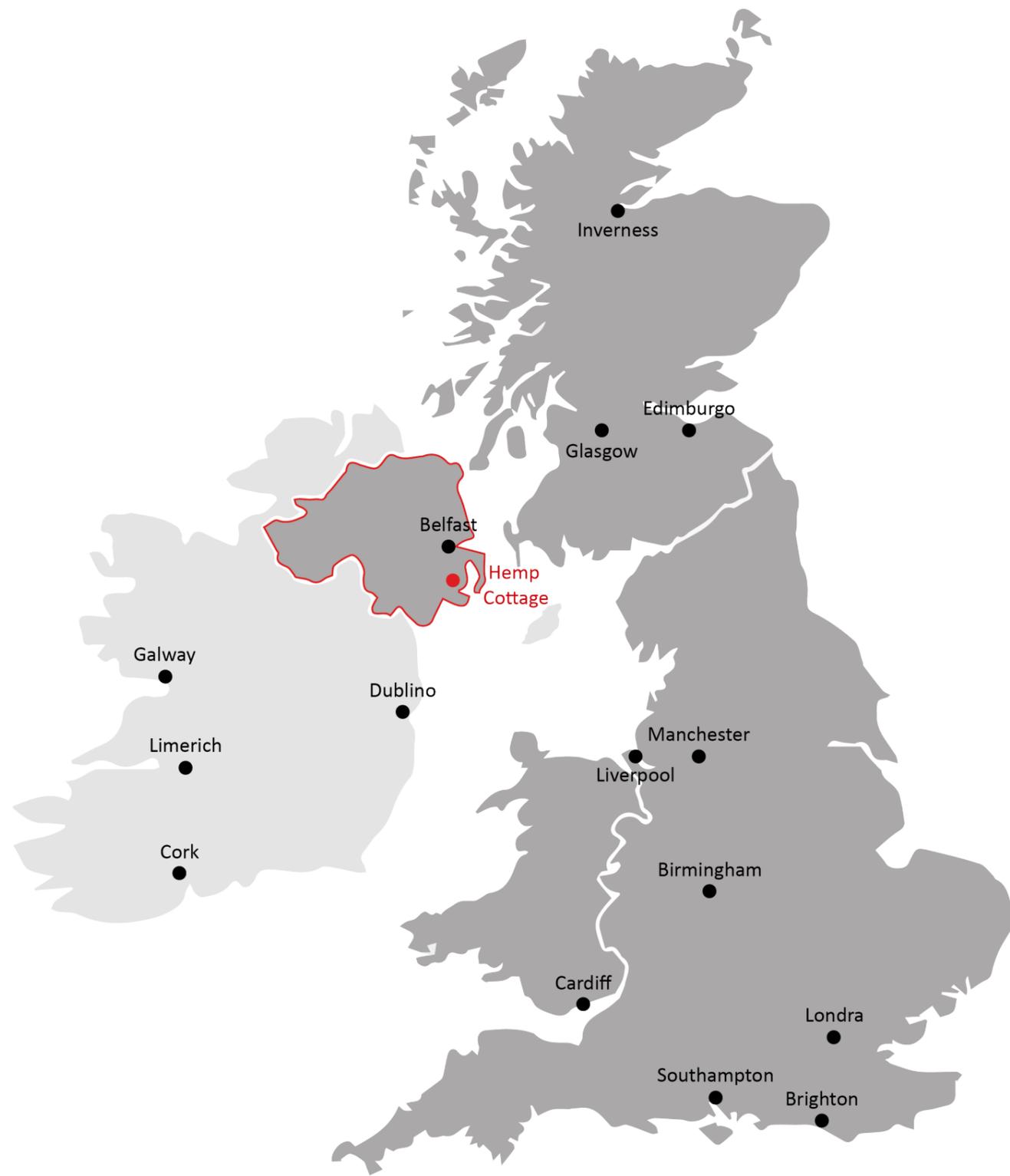
- [1] Tom Woolley, *Natural Building. A Guide to Materials and Techniques*, Ramsbury: The Crowood Press, 2006, p. 8
- [2] Adolfo F.L. Baratta, *Il laterizio celato. Soluzioni tecnologiche nel Bosco Verticale*, Costruire in laterizio, n. 163, giugno 2015, p. 55.
- [3] Adolfo F.L. Baratta, *Il laterizio celato. Soluzioni tecnologiche nel Bosco Verticale*, Costruire in laterizio, n. 163, giugno 2015, p. 56.
- [4] Tom Woolley, *Building materials, health and indoor air quality: no breathing space?*, Abingdon: Routledge, 2017, p. 129.
- [5] Tom Woolley, *Building materials, health and indoor air quality: no breathing space?*, Abingdon: Routledge, 2017, p. 130.
- [6] S. Langer, G. Beko, E. Bloom, A. Widheden, L. Ekberg, *Indoor air quality in passive and conventional new houses in Sweden*. Building and Environment, 2015, p. 93.
- [7] P. Sassi, *A natural ventilation alternative to the Passivhaus Standard for a Mild Maritime Climate*, Buildings, pp. 61-78.
- [8] Tom Woolley, *Building materials, health and indoor air quality: no breathing space?*, Abingdon: Routledge, 2017, p. 168.
- [9] C. Bristow, *Identifying barriers to the use of natural building materials in mainstream construction in Ireland*, University of Bath, MSC Architectural Engineering, 2015.
- [10] Tom Woolley, *Natural Building. A Guide to Materials and Techniques*, Ramsbury: The Crowood Press, 2006, p. 12.
- [11] Tom Woolley, *Natural Building. A Guide to Materials and Techniques*, Ramsbury: The Crowood Press, 2006, p. 159.

03

HEMP COTTAGE

3.1 - Distribuzione

3.2 - Le fasi di realizzazione



Elaborato n.1: Posizione geografica dell'Hemp Cottage all'interno del Regno Unito



Elaborato n.2: Posizione geografica dell'Hemp Cottage all'interno dell'Irlanda del Nord con evidenziato il distretto d'appartenenza (Newry, Mourne e Down)



Elaborato n.3: Posizione geografica dell'Hemp Cottage rispetto al centro abitato di Crossgar



Hemp Cottage
Fonte: Andrea Grasselli



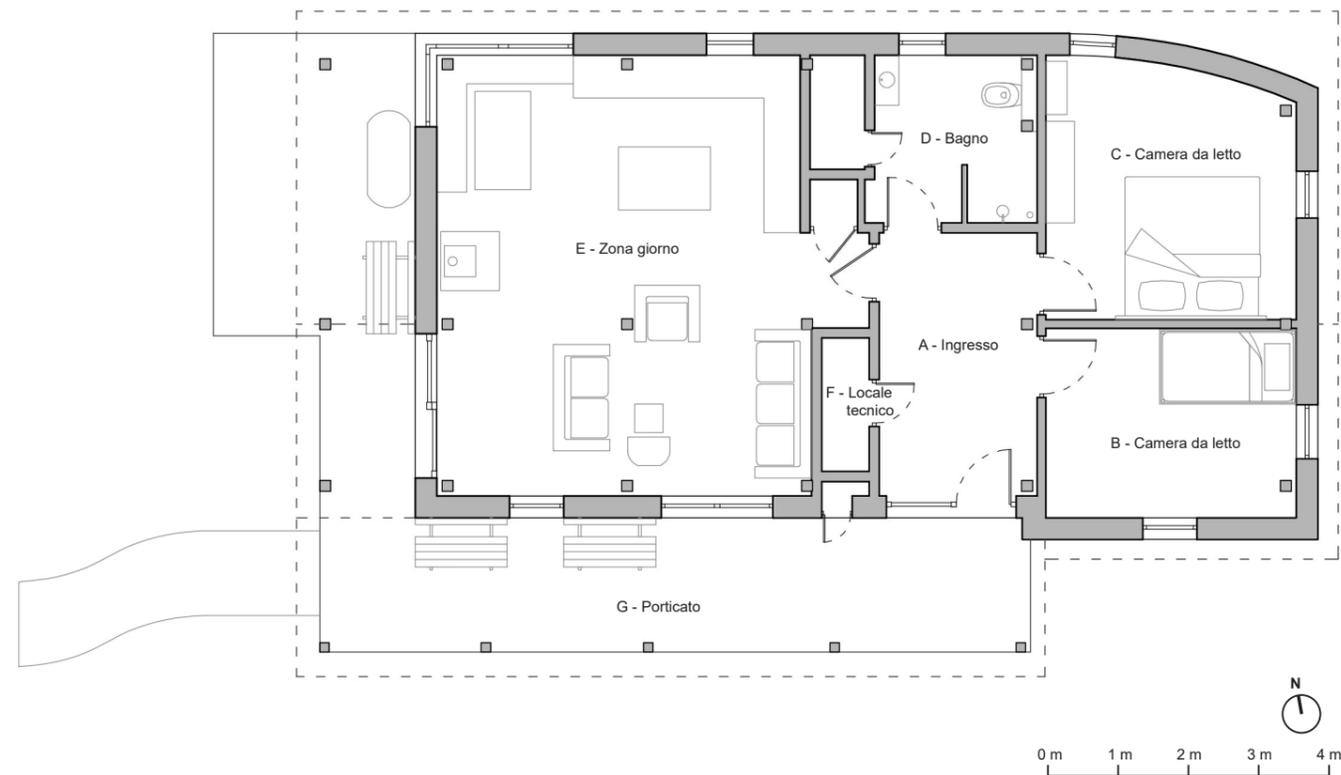
Elaborato n.4: Posizione dell'Hemp Cottage rispetto allo studio Rachel Bevan Architects

3 - Hemp Cottage

Il cottage si trova, secondo la suddivisione amministrativa entrata in vigore nel 2015, nel distretto Newry, Mourne e Down nell'Irlanda del Nord, a circa 25 km dalla capitale Belfast. Sorge in una zona a bassa densità abitativa nel meraviglioso paesaggio irlandese, a un paio di minuti in automobile dalla cittadina di Crossgar e a circa 10 km da Downpatrick, città che fino al 2015 era il capoluogo del distretto di Down.

Questa abitazione di nuova costruzione combina una costruzione innovativa e sostenibile, con un design moderno che può essere ritenuto coerente con il suo contesto rurale. La casa, che ha una superficie di 88 m², fu inizialmente progettata come abitazione per il padre novantenne di Mr. Woolley, è ora attualmente disponibile per l'affitto per brevi soggiorni. Nonostante la vicinanza al Ballynahinch River si trova ben al di sopra del livello di piena del fiume, considerato a scorrimento veloce, non condizionando quindi in maniera significativa la progettazione del cottage. La copertura a doppia falda presenta due differenti soluzioni

di manto; tetto verde per la falda rivolta a nord e tegole in ardesia per quella a sud. Il manto in tegole riflette le forme di copertura degli edifici vicini, tra cui l'adiacente mulino ad acqua convertito in abitazione dagli stessi Woolley e Bevan per la loro famiglia ed attuale sede dello studio Rachel Bevan Architects. Oltre a fornire un'abitazione, il cottage dimostra come materiali naturali e a basso impatto ambientale possano essere usati per creare edifici efficienti dal punto di vista energetico.



Elaborato n.5: Pianta Hemp Cottage - Scala 1:100

3.1 - Distribuzione

Il cottage, come prima accennato, sorge in un contesto caratterizzato da ampi spazi verdi e basse colline che movimentano leggermente il terreno. Il fiume, che anticamente alimentava il mulino situato a pochi metri, contribuisce, con il proprio suono, a un'immersione profonda nella pace del luogo.

Costruito a cavallo tra il 2008 e il 2009, è stata l'occasione per mettere in pratica le conoscenze acquisite riguardo l'impiego di materiali naturali da parte di Woolley e Bevan. L'edificio, inizialmente realizzato per ospitare una persona anziana, fu in seguito oggetto di alcuni interventi resi necessari dal cambio di destinazione. Quello di maggiore rilevanza è l'aggiunta di una parete divisoria in quella che originariamente era l'unica camera da letto. I due ambienti che ne sono derivati sono stati entrambi adibiti a camera da letto, uno con letto matrimoniale e l'altro con un letto a castello adatto a bambini, con l'intento di offrire a famiglie la possibilità di soggiornare nel cottage. Oltre a questo intervento, l'edificio non

ha subito ulteriori modifiche presentandosi così alla mia visita alla fine di febbraio 2020:

- Ingresso (A): collocato pressappoco al centro del prospetto sud presenta una porta-finestra larga 1,8 m, divisa in due parti; una fissa e l'altra apribile ad anta verso l'interno. L'ambiente ha una superficie di circa 8,5 m² e rappresenta un perno intorno al quale sono stati disposti tutti gli altri ambienti. Gode di abbondante illuminazione naturale grazie sia all'ampia porta-finestra, sia al doppio lucernario collocato in asse con essa. Un elemento che fin da subito cattura l'attenzione è la struttura principale in legno lasciata a vista e volutamente non inglobata nelle pareti dell'edificio.

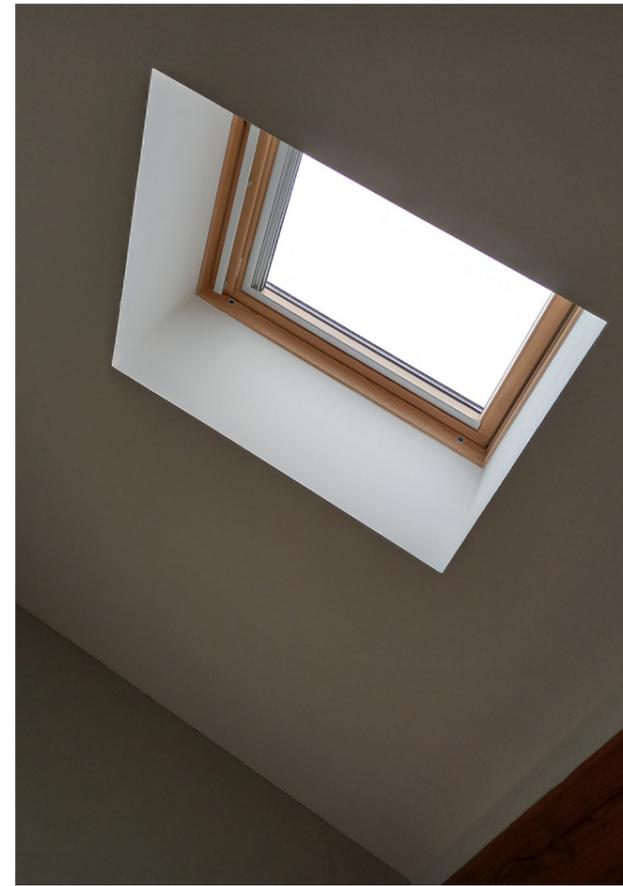
- Camera da letto per i bambini (B): è il risultato della divisione dell'unica grande camera da letto realizzata inizialmente. Occupa l'angolo sud-est dell'edificio e presenta un'area di 9,5 m². Oltre ad avere due finestre, una sul prospetto sud e l'altra su quello est, è illuminata dall'alto da un lucernario.



Ingresso (A)
Fonte: Andrea Grasselli



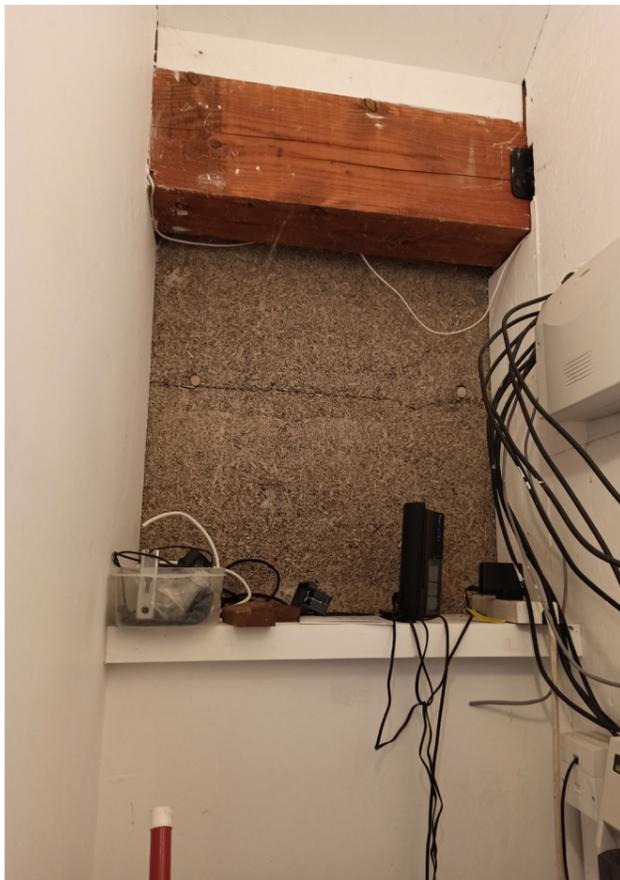
Struttura principale in legno - Camera da letto (B)
Fonte: Andrea Grasselli



Lucernario - Camera da letto (B)
Fonte: Andrea Grasselli



Struttura principale in legno e parete curva - Camera da letto (C)
Fonte: Andrea Grasselli



Sezione di parete in calce-canapa senza l'intonaco - Locale tecnico (F)
Fonte: Andrea Grasselli



Zona giorno (E)
Fonte: Andrea Grasselli



Zona giorno (E)
Fonte: Andrea Grasselli



Hemp Cottage - Prospetto Ovest
Fonte: Andrea Grasselli



Hemp Cottage - Porticato
Fonte: Andrea Grasselli



Hemp Cottage - Serbatoio per la raccolta dell'acqua piovana
Fonte: Andrea Grasselli

- Camera matrimoniale (C): ha una superficie di 12,5 m² ed è posta nell'angolo nord-est del cottage. Anche questa stanza conta due finestre, una per ciascun prospetto, e un lucernario, che a differenza di quelli nominati in precedenza buca la falda orientata a nord. L'elemento caratterizzante di questo ambiente è la parete curva: la curvatura inizia in corrispondenza dall'angolo nord-est e prosegue per un paio di metri lungo la facciata nord dopodiché la parete riprendere il proprio andamento rettilineo. Nonostante sia ben riconoscibile in pianta, risulta invece più difficile da percepire se osservata da dentro la stanza. Woolley e Bevan hanno affermato che molte delle persone che hanno soggiornato nell'Hemp Cottage non hanno notato questa particolarità.

- Bagno (D): presenta una superficie di 5,5 m², una finestra che affaccia sul prospetto nord e un lucernario anch'esso sulla falda nord della copertura. Da qui, si può accedere a un piccolo locale tecnico di 1,25 m², all'interno del quale sono stati collocati i pannelli per il controllo ed

il monitoraggio degli impianti (riscaldamento, acqua e gas).

- Zona giorno (E): è l'ambiente principale del cottage e misura poco meno di 34 m², cioè la metà della superficie totale. Gode di tre affacci, uno per ogni prospetto ad eccezione di quello ad est. Lo spazio è molto ben illuminato grazie all'elevata superficie vetrata; in particolare, fornisce un notevole apporto di luce la finestra a tutt'altezza posta sul prospetto est. I soffitti seguono l'intradosso del tetto: la stanza presenta un'altezza massima di 3,95 m e una media di 3,25 m. Qui, ancora meglio che negli ambienti precedenti, si può osservare la struttura principale in legno. L'ambiente consiste in un unico spazio comprendente soggiorno – dotato di divano, televisore e stufetta a legna – e cucina.

- Locale tecnico (F): dall'ingresso si può accedere a un altro piccolo ambiente di 1,25 m² usato principalmente come ripostiglio. All'interno, una piccola parte di muro è stata

volutamente lasciata senza alcuna finitura dando così modo di osservare la composizione in calce-canapa dello stesso.

- Porticato (G): Il cottage presenta un porticato a "L" posizionato lungo tutto il prospetto ovest e buona parte di quello sud. La superficie pavimentata è realizzata con listelli in legno, leggermente rialzata rispetto al terreno. La copertura è invece formata da due sistemi differenti; quella sul prospetto ovest è ricavata dal proseguimento delle falde del tetto mentre quella sul prospetto sud è una struttura, simile a una tettoia, indipendente dal resto dell'edificio. La copertura è sostenuta da pilastri in legno; anche l'orditura è di travetti in legno.



Hemp Cottage - Struttura principale in legno
Fonte: Rachel Bevan Architects ©

3.3 - Le fasi di realizzazione

La realizzazione dell'Hemp Cottage è cominciata nel 2008 e il completamento ha richiesto circa un anno. Le fondazioni sono state completate nella primavera di quell'anno, la struttura principale in legno in estate, le pareti in calce-canapa a partire dalla fine dell'estate, mentre l'intonacatura e altri interventi sono stati completati all'inizio di giugno dell'anno successivo. Secondo Woolley, l'edificio si sarebbe potuto costruire nella metà del tempo ma i lavori procedevano a step, alternando mesi di lavoro costante e mesi di stop totale. Il ruolo di Woolley e Bevan, oltre a quello di committenti, è stato quello di Project manager. La realizzazione dei muri in calce-canapa, oltre che gli operai dell'impresa di costruzioni, ha coinvolto diversi volontari senza alcuna conoscenza pregressa. Questa possibilità è stata dettata dalla facilità di applicazione e ha contribuito a ridurre i costi legati alla mano d'opera.

L'edificio poggia su fondazioni continue in calcestruzzo profonde 70 cm e poste al di sotto

del perimetro murario. La scelta di ricorrere a questo materiale è stata vincolata da precise richieste normative, rese più stringenti a causa della collocazione dell'edificio in una zona ritenuta a rischio di alluvione. Anche la soletta a contatto con il terreno, spesso 15 cm, è stata realizzata con il medesimo composto. È stata presa in considerazione la possibilità di realizzare un massetto in calce-canapa aggiungendo sabbia per circa il 20% del volume, in modo da aumentare la resistenza alla penetrazione dell'umidità e conferire una maggiore resistenza all'impatto. Tuttavia, questa opzione è stata scartata a causa della forte presenza di gas radon nel terreno. Al di sopra del massetto, sono stati realizzati dei plinti in calcestruzzo, posti alla base dei pilastri in legno della struttura principale, per innalzarli al livello della pavimentazione.^[1]

La faccia esterna delle fondazioni è stata rivestita da uno strato di EPS riciclato di 10 cm.

Questa prima fase dei lavori è stata completata



Hemp Cottage - Posa dei travi "I-Joist"
Fonte: Rachel Bevan Architects ©

in tempi molto stretti a causa del clima molto piovoso, dopodiché si è passati alla realizzazione della struttura principale in legno di abete Douglas.

Si è iniziato posizionando i pilastri sui plinti in calcestruzzo e fissandoli tramite piastre in acciaio. Vi sono tre file di pilastri poste parallelamente all'asse maggiore dell'edificio; una in corrispondenza della linea di colmo del tetto a doppia falda, e le altre due lungo le linee di gronda. Posizionati i pilastri, si è passati alla posa delle travi del medesimo legno. Queste sono state appoggiate sulla testa degli elementi verticali e fissate lateralmente ad essi tramite piastre in acciaio a forma di "T", simili a quelle usate nella base dei pilastri. Dato il clima, anziché procedere con la realizzazione delle pareti in calce-canapa, si è per prima cosa costruita la copertura. A tale scopo, sono stati impiegati degli "I-Joist" in legno posizionati perpendicolarmente alle travi di gronda e di colmo. Altri travetti, dello stesso tipo, sono stati posizionati perpendicolarmente

alle prime. L'orditura è stata protetta da un telo impermeabile temporaneo, in modo da permettere la realizzazione degli elementi in calce-canapa in un ambiente riparato dagli agenti atmosferici.

Le pareti perimetrali sono rette da un telaio in legno, appoggiato sulle fondazioni in calcestruzzo e posto in mezz'aria rispetto allo spessore della parete. Tra questi due elementi è stata stesa una barriera al gas radon. I listelli usati per il telaio hanno una sezione di 7,5 x 5 cm e sono di legno di pino, di qualità inferiore rispetto a quello della struttura principale. La tecnica utilizzata per la realizzazione delle pareti è quella della "gettata", la quale necessita di una preventiva posa di casseri, che in genere vengono rimossi dopo il getto per facilitare l'asciugatura. Il ruolo del telaio, completamente immerso nel composto, è quello di fungere da "ossatura" per la calce-canapa, in modo tale che, una volta tolti i casseri, questa non si inclini lateralmente. Inoltre, in corrispondenza delle aperture, sono stati realizzati dei controelai



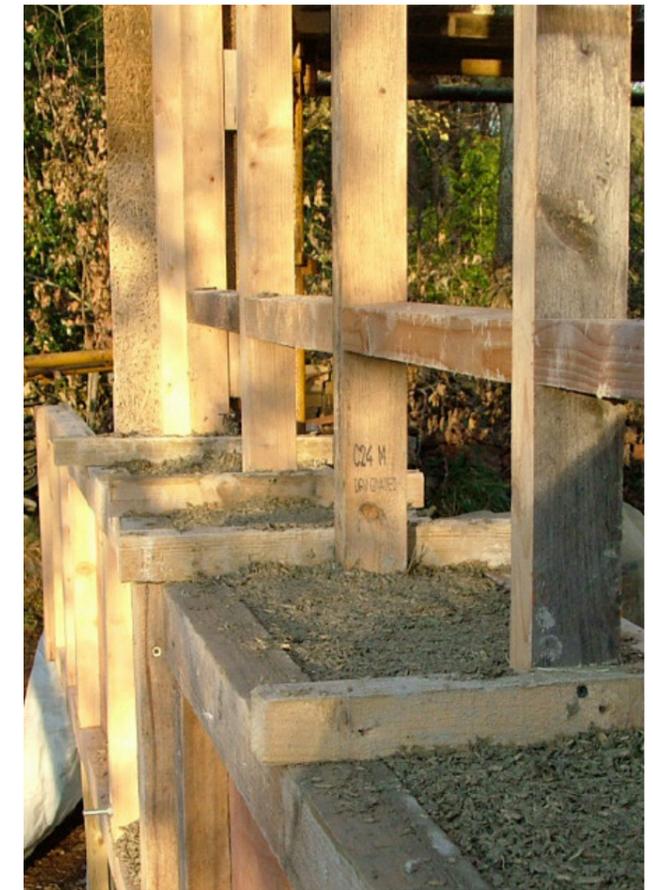
Hemp Cottage - Armatura in legno all'interno delle pareti perimetrali in calce-canapa
Fonte: Rachel Bevan Architects ©



Hemp Cottage - Controtelaio in lana di roccia mineralizzata di una finestra
Fonte: Rachel Bevan Architects ©



Hemp Cottage - Parete in calce-canapa durante la fase di realizzazione
Fonte: Rachel Bevan Architects ©



Hemp Cottage - Parete in calce-canapa durante la fase di realizzazione
Fonte: Rachel Bevan Architects ©

utilizzando pannelli in lana di legno mineralizzata con magnesite. Gli impianti sono stati realizzati parallelamente all'innalzamento delle pareti, in quanto la malleabilità del materiale appena messo in opera favorisce la realizzazione delle tracce.

Nelle partizioni interne è stato impiegato il cartongesso e non è stato fatto uso di materiali isolanti. La parete che divide la zona giorno dal resto della casa è stata rinforzata con pannelli in compensato molto rigido, assumendo il ruolo di "shear wall", ovvero una parete progettata per resistere alle forze laterali, come il vento e i sismi. Le pareti in calce-canapa, una volta terminato il processo di essiccazione, contribuiscono fortemente alla stabilità dell'edificio, ma durante il primo anno non garantiscono ancora le prestazioni meccaniche richieste: diventa perciò importante la presenza di muri di controventatura.

Terminate le pareti interne, si è passati all'installazione di finestre e porte; per entrambe

è stato utilizzato legno di pitch-pine, recuperato dalla demolizione di vecchi edifici da un'azienda locale. Le finestre e le portefinestre sono fornite di doppi vetri. Durante la fase di progettazione venne presa in considerazione l'ipotesi dell'utilizzo di vetri tripli, tuttavia, questa scelta è stata scartata, in quanto avrebbe comportato un incremento dei costi di 5000 £.

Una volta completato il tamponamento delle pareti perimetrali, sono stati proseguiti i lavori sulla copertura. Gli "I-Joist" hanno un'altezza di 30 cm e sono posti con interasse che varia da 60 fino a 77 cm. Lo spazio fra di essi è stato colmato applicando dell'isolante in lana di pecora prodotto dall'azienda Black Mountain. Per aumentare le prestazioni termiche della copertura, è stato posato al di sopra degli I-joist, un ulteriore strato di isolante in lana di roccia, applicato sotto forma di pannelli dello spessore di 5 cm e prodotto da Rockwool. I pannelli sono posati in una serie di strisce verticali separate da listelli in legno di sezione 35 x 50 mm, per evitare che il peso degli strati superiori danneggiasse

la lana di roccia. Dopodiché, sulla superficie è stata posizionata una membrana impermeabile e allo stesso tempo traspirante. La stratigrafia descritta fino ad ora è stata adottata in entrambe le falde della copertura, mentre a partire dallo strato successivo è necessario fare distinzione. Nella falda a sud, dopo il posizionamento della membrana, sono stati fissati dei listelli verticali in legno, 38 x 50 mm, con un interasse compreso tra i 60 cm e i 77 cm. L'intercapedine che si è creata tra questi elementi è stata lasciata libera con il fine di creare uno spazio ventilato. Infine, sono state posizionate le tegole in ardesia, fissate su listelli orizzontali in legno con sezione 38 x 25 mm, a loro volta inchiodati a quelli verticali sottostanti. È stata adottata questa soluzione in quanto riflette gli edifici vicini.

Nella falda a nord, sopra la membrana impermeabile, sono stati collocati i listelli in legno verticali, di sezione 50 x 50 mm per formare un'intercapedine essenziale al corretto funzionamento dell'intero pacchetto di copertura. Sopra i listelli sono stati fissati

pannelli di compensato dello spessore di 19 mm, sui quali è stato steso uno strato di gomma butilica antiradice dello spessore di 5 mm. Infine, è stato versato uno strato di terra di circa 70-80 mm. La terra utilizzata è stata ricavata dallo scavo realizzato per le fondazioni. L'unione delle due falde, in corrispondenza dalla linea di colmo, è stata completata con un elemento di sfiato per la ventilazione.

Parallelamente alla realizzazione della copertura sono stati portati avanti i lavori di pavimentazione. Una volta terminata la soletta in calcestruzzo è stato posizionato l'isolante in EPS riciclato con uno spessore di 225 mm. Successivamente, si è passati alla posa dell'impianto di riscaldamento a pavimento, per concludere con l'ultimo strato di pavimentazione. I materiali utilizzati sono differenti a seconda dell'ambiente: tessere in legno rettangolari (15 x 5 cm) nell'ingresso, parquet in entrambe le camere da letto, piastrelle in gres nel bagno e piastrelle quadrate in pietra per la zona giorno.



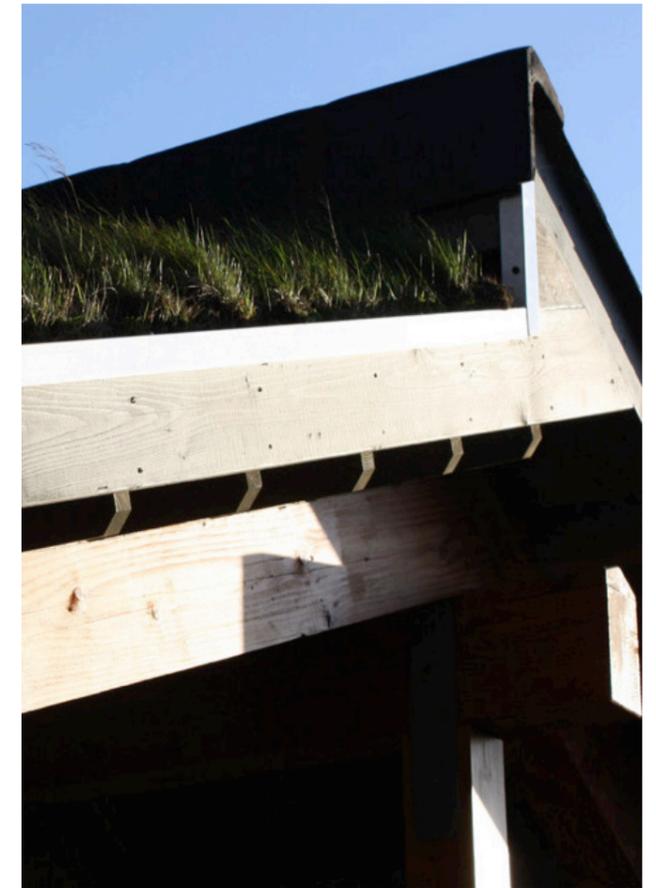
Hemp Cottage - Parete in calce canapa con rivestimento in NHL 3.5
Fonte: Rachel Bevan Architects ©



Hemp Cottage - Tubolare d'acciaio posto alla base del pilastro della veranda
Fonte: Andrea Grasselli



Hemp Cottage - Travetti in legno della copertura immersi nella parete in calce-canapa
Fonte: Rachel Bevan Architects ©



Hemp Cottage - Copertura con tetto verde
Fonte: Rachel Bevan Architects ©

Nel mese di giugno del 2009, i lavori si sono concentrati sulle finiture interne ed esterne delle pareti perimetrali. È stato realizzato un intonaco a base di Natural Hydraulic Lime (NHL), del tipo 2.5 per l'interno e 3.5 per l'esterno. Woolley spiega che l'impiego della calce è abbastanza insolito nell'Irlanda del Nord, dove è invece molto più comune ricorrere a intonaci a base di cemento. L'intonaco, sia interno che esterno, presenta uno spessore di 20 mm. Internamente è stata utilizzata una pittura naturale traspirante a base d'argilla.

I lavori per la realizzazione della copertura posizionata sul prospetto sud sono stati iniziati durante la fase di innalzamento delle pareti perimetrali. La struttura è sorretta da pilastri in abete douglas, simili a quelli utilizzati per la struttura principale, con una sezione di 13 x 13 cm. Tali elementi sono rialzati di circa 20 cm rispetto alla quota del terreno, attraverso tubolari a sezione circolare in acciaio conficcati nel terreno. Ogni tubolare è connesso alla base del rispettivo pilastro in legno tramite una piastra

con profilo a "C", imbullonata lateralmente. Sui pilastri sono appoggiate le travi che fungono da elemento di congiunzione tra questi e da appoggio per la falda. Travi e pilastri sono connessi attraverso delle piastre a "T" in acciaio. I travetti in legno che sostengono il manto in lamiera sono a un'estremità appoggiati alla trave di bordo posta in testa ai pilastri, e all'altra incastrati nella parete in calce-canapa. Questa soluzione è stata adottata in quanto ritenuta capace di conferire rigidità alla struttura di copertura.

Uno degli ultimi elementi realizzati è stata la pavimentazione della veranda. Come già accennato, il piano, leggermente rialzato rispetto al terreno di circa 15 cm, è realizzato in listelli di legno. Si sviluppa lungo tutto il prospetto ovest e per buona parte di quello sud, con una superficie totale di poco meno di 35 m². Per colmare il rialzamento, è stata realizzata una breve rampa attraverso l'impiego di autobloccanti di recupero. Secondo gli architetti Woolley e Bevan, questo tipo di accesso non

è una semplice concessione ai regolamenti edilizi, ma un percorso protetto e antiscivolo sotto la copertura della veranda, assumendo il ruolo di spazio di transizione.

Note

[1] Tom Woolley, Rachel Bevan, *Hemp and Lime Construction. A Guide to Building With Hemp Lime Composites*, BRE/IHS Press, 2008, pp. 74-75

04

ELEMENTI CHIAVE

4.1 - Struttura principale in legno

4.2 - Pareti perimetrali in calce-canapa

4.2.2 - Workshop a Manchester

4.3 - Copertura

4.4 - Problemi, manutenzione, degrado



Hemp Cottage
Fonte: Rachel Bevan Architects ©

4 - Elementi chiave

L'utilizzo di materiali naturali viene molto spesso associato a una visione di architettura povera e talvolta arretrata, lo stesso Woolley in Natural Building afferma che:

“many will view some of the techniques here as turning the clock back”. [1]

Il progresso negli ultimi secoli ha portato con sé lo sviluppo di nuove tecnologie e nuovi materiali, che hanno preso il posto di quelli utilizzati in precedenza. L'errore sta nel dar per scontato che questi nuovi materiali garantiscano migliori prestazioni e una maggior efficienza.

La facilità di applicazione dei materiali naturali è spesso una fonte di attrazione per i sostenitori delle auto-costruzioni. Questo aspetto, che da un lato può essere considerato un punto a favore, rischia però spesso di diventare uno dei principali fattori di insuccesso legato ai materiali naturali, a causa delle basse conoscenze tecniche.

Nell'Hemp Cottage, la scelta di ogni singolo

elemento impiegato e del materiale in cui è stato realizzato, è stata frutto di un'attenta valutazione sotto diversi aspetti, tra i quali quello della sostenibilità. L'esperienza maturata da Bevan e Woolley ha permesso la buona riuscita del progetto che, a distanza di poco più di 10 anni dalla sua costruzione, continua a fornire indicazioni positive, non solo sull'efficienza prestazionale ma anche in termini di durabilità. L'edificio è caratterizzato da alcuni elementi che, a parer mio, meritano un approfondimento.



Hemp Cottage - Struttura principale in legno
Fonte: Rachel Bevan Architects ©

4.1 - Struttura principale in legno

“Timber is perhaps the oldest natural material used in buildings after cave dwellings.” [2]

Il legno può essere usato per un ampio ventaglio di usi. Nel caso dell'Hemp Cottage, la struttura portante, quella della copertura, il telaio interno alle pareti di calce-canapa, gli infissi interni ed esterni e parte della pavimentazione, hanno visto l'impiego di questo materiale.

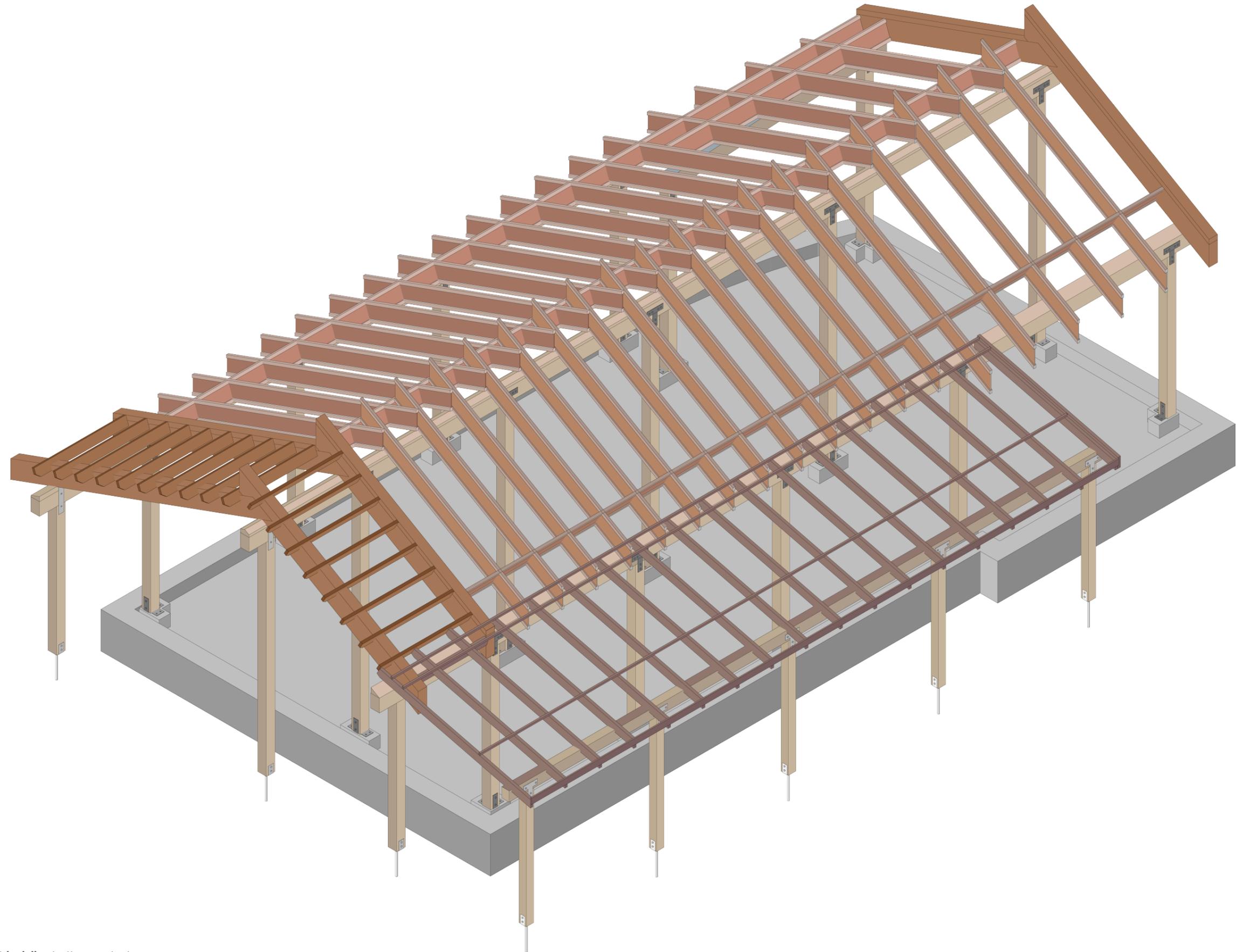
I vantaggi sono molteplici: oltre ad essere rinnovabile è anche riciclabile, richiede un limitato consumo di energia durante le fasi di produzione e posa, ed è un materiale sequestratore di CO₂. Si distingue per le sue caratteristiche di bassa conducibilità termica, elevata inerzia termica e spiccata igroscopicità, caratteristiche che permettono di generare un effetto positivo sulla qualità dell'aria all'interno dell'edificio e sul benessere percepito. Le ottime qualità legate a questo materiale, sono state le ragioni che hanno spinto i due architetti alla scelta del legno come uno dei materiali protagonista dell'edificio.

Il legno impiegato per la realizzazione dei pilastri e delle travi che compongono la struttura principale è l'Abete di Douglas. È una pianta ampiamente diffusa nel Nord America, mentre all'interno del Regno Unito cresce soprattutto in Scozia. La specie è considerata dall'organizzazione IUCN (Unione Internazionale per la Conservazione della Natura) a “rischio minimo”.

Gli elementi che compongono la struttura sono stati acquistati da una segheria distante dal sito circa 4 miglia, specializzata nella produzione di elementi in legno di grosse dimensioni.

Nel dettaglio, sono stati necessari:

- 24 pilastri, posizionati su quattro file parallele; due di queste in corrispondenza delle linee di gronda, lungo il prospetto sud e quello nord, una sotto la linea di colmo e l'ultima a sorreggere la copertura della veranda. La sezione dei pilastri è di 15 x 15 cm, ad eccezione di quelli utilizzati nella veranda, che invece misurano 13 x 13 cm. Presentano tre differenti altezze: 2,05 m quelli della veranda, mentre internamente,



Elaborato n.1: Assonometria della struttura portante



Hemp Cottage - Piastra d'acciaio imbullonata alla struttura principale in legno
Fonte: Andrea Grasselli



Hemp Cottage - Piastra d'acciaio imbullonata alla struttura principale in legno
Fonte: Andrea Grasselli



Hemp Cottage - Struttura principale in legno in corrispondenza della parete nord e dell'angolo nord-est dell'edificio
Fonte: Rachel Bevan Architects ©

la fila centrale è di 3.60 m, 2,35 m quelle perimetrali. Ogni pilastro interno poggia su blocchi di calcestruzzo ed è fissato ad esso tramite una piastra metallica, di 4 mm di spessore, imbullonata con un totale di 8 viti. I pilastri esterni invece poggiano su tubolari a sezione circolare in acciaio, del diametro di 3 cm, conficcati nel terreno.

- 19 travi, appoggiate al di sopra dei pilastri. La lunghezza varia a seconda della campata. La sezione è rettangolare, più precisamente di 15 x 22,5 cm quella delle travi interne e di 13 x 17 cm quelle utilizzate nella veranda. L'unione delle coppie di travi con il pilastro che le sostiene avviene tramite piastre metalliche a forma di "T", dello spessore di 4 mm, ognuna fissata alla parte lignea con 6 viti imbullonate.

- 6 elementi con una sezione rettangolare di 15 x 30 cm, suddivisi in 3 differenti coppie e posizionati in modo tale che ognuna di esse presentasse un elemento lungo ciascuna delle due falde. Quattro di questi sono stati inglobati nei muri in calce-canapa dei prospetti est e ovest, mentre gli altri due sostengono la fine

della copertura ad ovest. La coppia di elementi è fissata tramite un incastro posto all'altezza della linea di colmo e attraverso delle piastre metalliche in corrispondenza delle travi lungo le linee di gronda.

Un aspetto di cui Woolley e Bevan vanno fieri, è la totale assenza di colle nella struttura principale in legno. Tuttavia, ricordano come sia fondamentale il contributo di un ingegnere strutturale che assicuri la stabilità dell'edificio. L'utilizzo delle piastre in acciaio imbullonate in tutti i nodi della struttura, ha reso quest'ultima molto semplice ma al tempo stesso dotata di grande solidità. Woolley sostiene che se si vuole fare qualcosa di innovativo, come ad esempio pareti in calce-canapa, allora tutto il resto deve essere il più semplice possibile.

L'elemento fondamentale della struttura della copertura è la trave "JJI-Joist", ovvero il modello di trave "I-Joist" prodotto dall'azienda "James Jones & Son Limited". JJI-Joist combina flange in legno di conifere con un'anima in OSB di

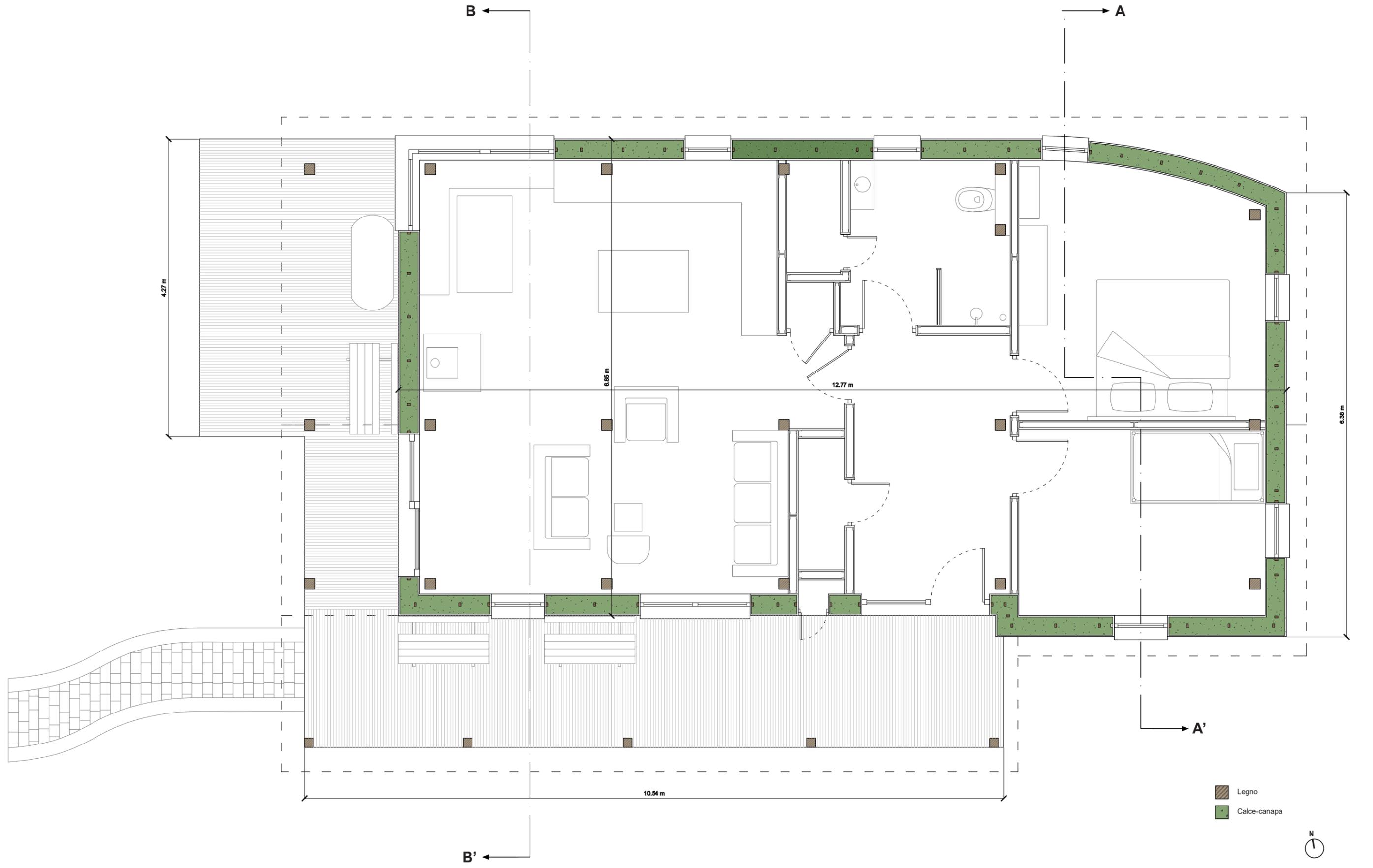
9 mm di spessore. Il modello impiegato ha un'altezza complessiva di 30 cm e larghezza delle flange di 7,2 cm.

Sono stati utilizzati 18 di questi per ciascuna falda, con un interasse medio di 68 cm; posti parallelamente all'inclinazione della copertura. Ad ogni travetto appartenente a una falda è associato il suo corrispondente nell'altra, al quale è fissato tramite dei bulloni. Ognuno dei "JJI-Joist" ha un'estremità appoggiata alla trave di colmo e l'altra sulla rispettiva trave di gronda. Per irrigidire la struttura, sono stati utilizzati in totale altri 10 travetti, posizionati perpendicolarmente a quelli che compongono le falde.

Sono stati necessari alcuni accorgimenti particolari in corrispondenza dell'angolo nord-est, caratterizzato dalla parete curva. Il pilastro posto nell'angolo dell'edificio non è in linea con gli altri, bensì arretrato leggermente (verso l'interno). Unire il pilastro posto nell'angolo con quello successivo, essendo appunto disallineati, avrebbe richiesto il posizionamento di una trave obliqua che avrebbe complicato

di molto la posa degli "I-Joist" della copertura. Si è preferito quindi aggiungere un pilastro in linea con quello collocato nell'angolo e in asse con quello lungo la linea della trave di gronda. Questi due pilastri, trovandosi più all'interno rispetto a quelli posti lungo il prospetto nord, hanno necessariamente un'altezza maggiore, in quanto la trave che li unisce, funge da supporto alle travi della copertura in un punto più vicino alla linea di colmo e pertanto più alto. Inoltre, è necessario puntualizzare che gli "I-Joist" della copertura appena citati, sono stati progressivamente ridotti di lunghezza in base alla curvatura della parete.

La struttura portante rimane visibile negli ambienti interni anche dopo il completamento dell'edificio, risultando spesso accostata alle pareti e non inglobata in esse. Questa soluzione, secondo i due progettisti, conferisce grande flessibilità all'edificio (intesa come possibilità di apportare modifiche senza intaccare la struttura). Inoltre, si prevede una maggiore facilità di dismissione dell'edificio.

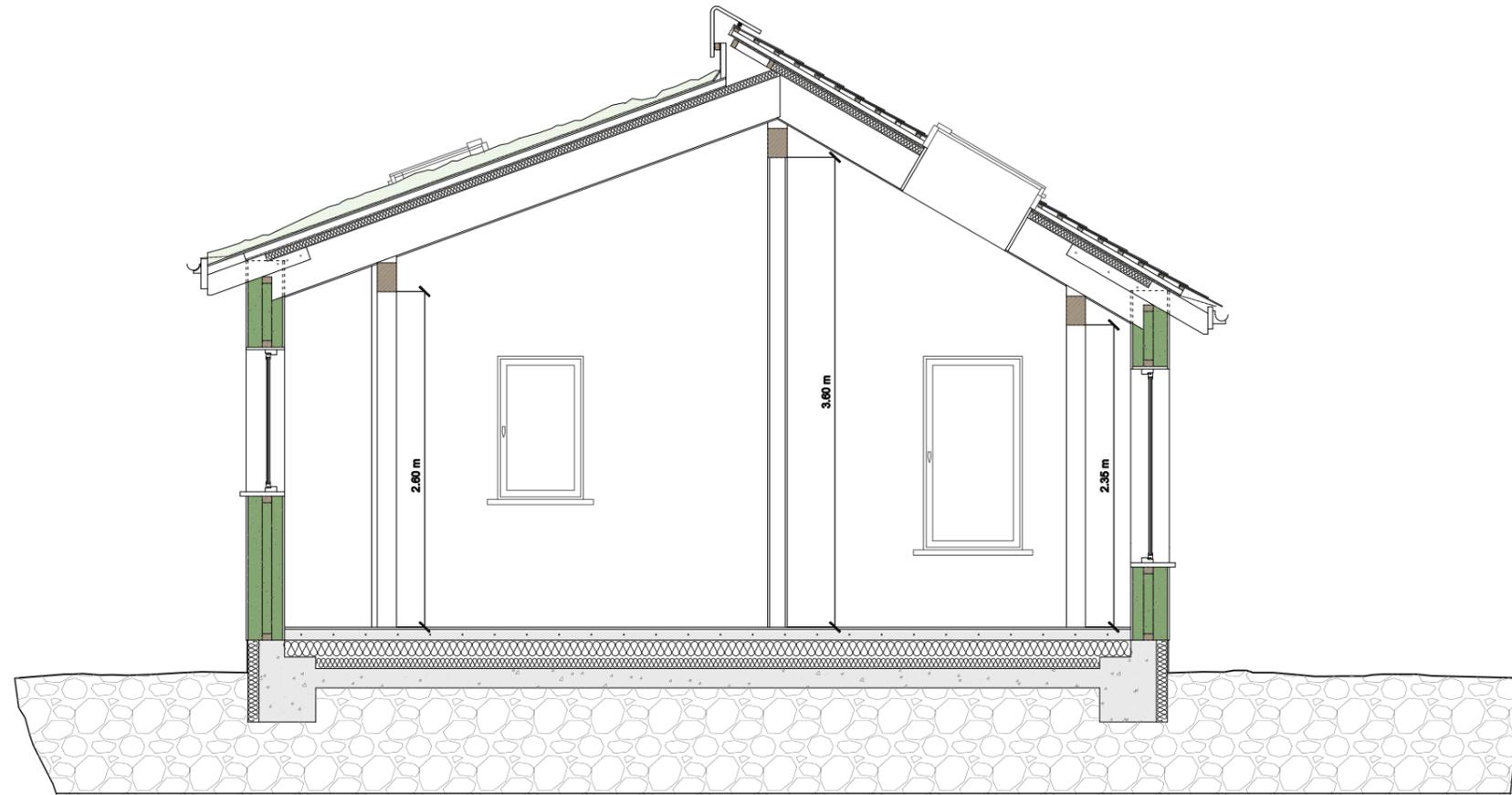


Elaborato n.2: Pianta Hemp Cottage scala 1:50

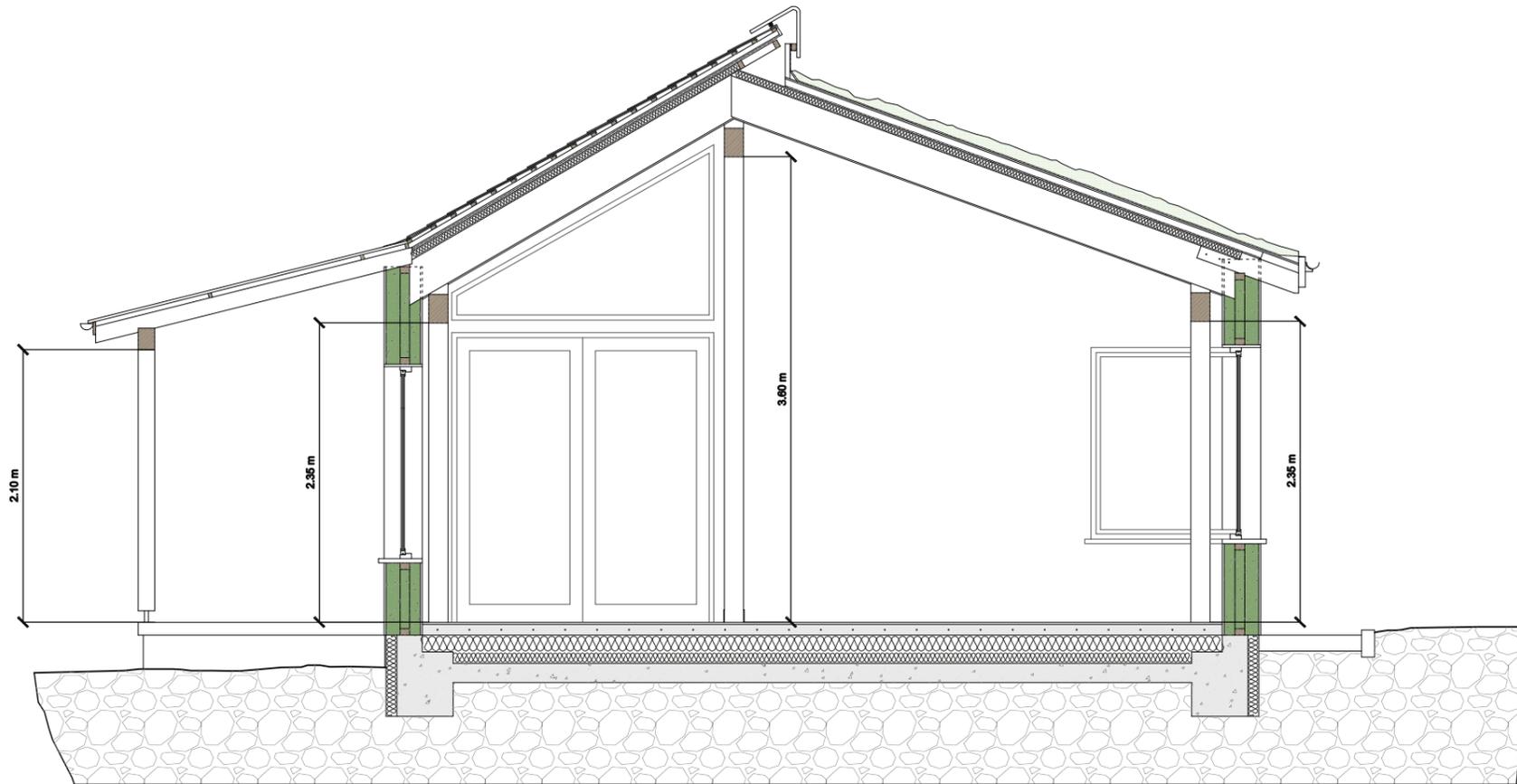
Legno
 Calce-canapa

N

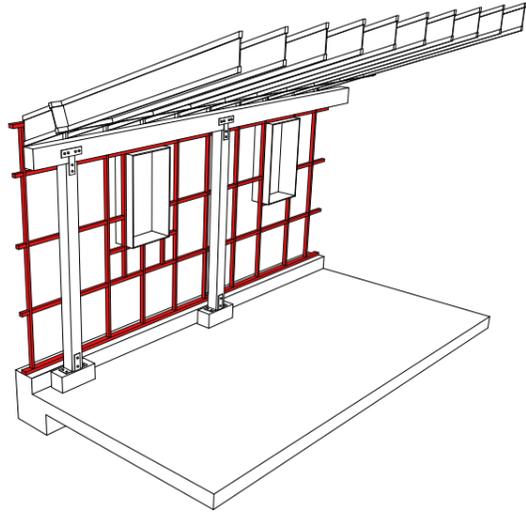
0 m 0,50 m 1 m 1,50 m 2 m



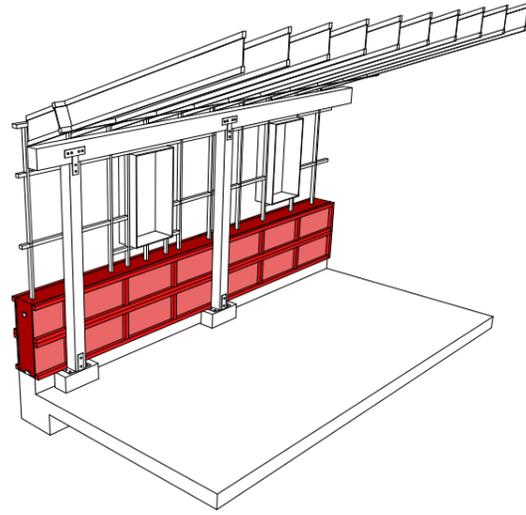
Elaborato n.3: Sezione AA' Hemp Cottage scala 1:50



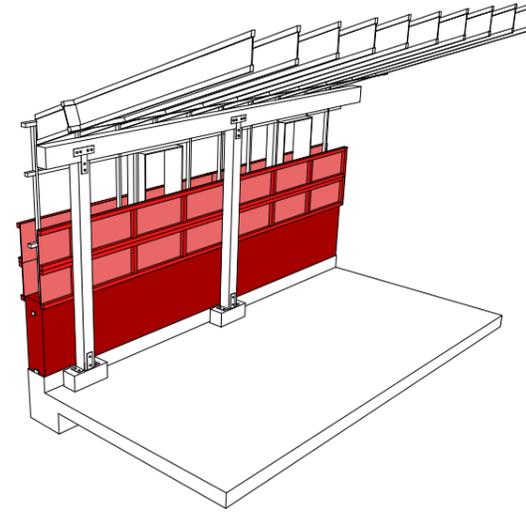
Elaborato n.4: Sezione BB' Hemp Cottage scala 1:50



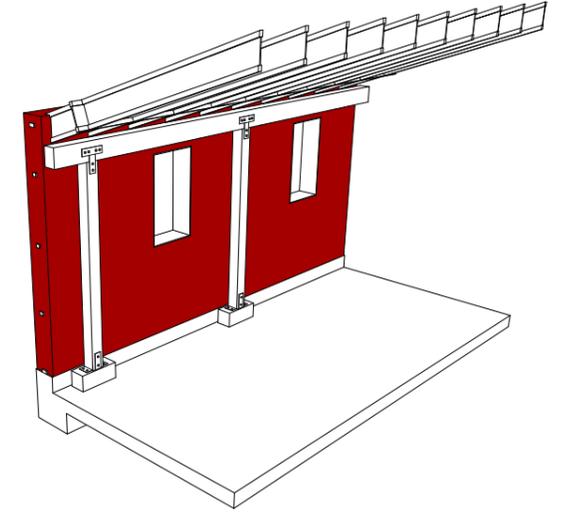
Fase 1: Realizzazione dell'armatura in legno all'interno delle pareti perimetrali in calce-canapa



Fase 2: Installazione dei casseri e posa della calce-canapa



Fase 3: Completata la fase 2, i casseri vengono smontati e ricollocati ad un livello superiore



Fase 4: Realizzazione della parete in calce-canapa e rimozione dei casseri

Elaborato n.5: Fasi di realizzazione di un muro in calce canapa con la tecnica a "getto"

4.2 - Pareti perimetrali in calce-canapa

"We have been trying to find a method of building low carbon and energy-efficient, simple and affordable that uses natural material. Hemp and lime mixed together seem to answer all those needs." - Tom Woolley ^[3]

L'impiego della calce-canapa per la realizzazione delle pareti perimetrali è l'elemento che più contraddistingue questo progetto. I lavori avviati nel 2008 avvengono quasi in contemporanea con la pubblicazione, del libro *Hemp lime construction. A guide to building with hemp lime composites*. L'esperienza maturata fino a quel momento in maniera prevalentemente teorica poteva essere finalmente applicata in un progetto concreto, che li coinvolgeva in prima persona.

L'azienda "Hemcore", principale trasformatore di canapa del Regno Unito, ha ottenuto la prima licenza per la coltivazione della canapa nel 1993. Tuttavia, il numero totale di edifici in calce-canapa nel Regno Unito, indifferentemente dalla loro destinazione d'uso, nel 2008 era di circa 50 unità. Il progetto dell'Hemp Cottage è

stato addirittura il primo nell'Irlanda del Nord.

Una volta appurato il giusto bilanciamento delle dosi dei componenti, la calce-canapa risulta essere un materiale semplice da produrre e da applicare. Tuttavia, un errore frequente, è quello di pensare che la miscela tra un qualsiasi tipo di calce presente sul mercato, con una confezione qualunque di canapa, possa assicurare un risultato ottimale. La calce-canapa deve essere considerata il risultato di una tecnologia avanzata, basata su numerosi studi, sia a livello dei singoli componenti che a livello di composto.

Per ridurre il più possibile gli errori è ideale, se possibile, acquistare dalla stessa azienda sia la canapa che il legante. Nel caso dell'Hemp Cottage, la scelta è ricaduta sul prodotto Hemcrete®; realizzato da Lime Technology, leader nello sviluppo di prodotti per l'edilizia a base di calce nel Regno Unito, in collaborazione con Lhoist UK, il più grande produttore mondiale di calce, e Hemcore, pionieri nella coltivazione

industriale della canapa. ^[4]

Il prodotto viene fornito separato nei suoi componenti, ovvero: Tradical® (l'aggregato di canapa) e Tradical®HB (legante speciale a base di calce idrata miscelata con materiali idraulici e pozzolanici selezionati). ^[4]

Riguardo alla messa in opera le opzioni principali erano due: a "getto" o a "spruzzo". La decisione è ricaduta sulla prima, in quanto ritenuta più facile da utilizzare e perché avrebbe dato modo a diversi volontari e aiutanti di lavorare al fianco dei costruttori. La tecnica a "spruzzo", pur essendo meno laboriosa e anche più rapida, è stata scartata a causa dell'impiego esclusivo di mano d'opera specializzata, comportando quindi un costo maggiore.

Prima di tutto è stato realizzato un telaio in legno, posto in corrispondenza della mezzera della parete. Questo elemento, una volta terminata la parete, rimane completamente inglobato in essa, fungendo da sostegno al quale la calce-canapa può "aggrapparsi"

durante l'essiccazione. Inoltre, il telaio in legno è necessario per collocare i pannelli in fibra di legno, utili a delineare lo spazio dedicato al posizionamento degli infissi esterni. Una volta completato il telaio all'inizio dell'inverno 2008/2009, sono potuti iniziare i lavori per l'innalzamento delle pareti.

Per ottenere il composto in calce-canapa è stato impiegato un miscelatore a palette orizzontale, uno strumento molto più grande di una normale betoniera. La proporzione ideale tra i diversi componenti, suggerita dall'azienda Hemcore per questo tipo di applicazione, è la seguente:

1 sacco di Tradical®HF da 200 litri : 2 sacchi di Tradical®HB da 36 kg : 60 litri d'acqua

Solitamente, nel miscelatore venivano messi contemporaneamente 2 sacchi di canapa, 4 di calce e 120 litri di acqua.

Prima di gettare il composto era necessario posizionare correttamente i casseri provvisori. Questi elementi, formati da pannelli di



Miscelatore a palette orizzontali
Fonte: Rachel Bevan Architects ©



Composto in calce-canapa
Fonte: Rachel Bevan Architects ©



Calce-canapa riversata all'interno dei casseri in compensato
Fonte: Rachel Bevan Architects ©

compensato, sono stati assemblati direttamente in loco. La loro realizzazione ha richiesto una certa precisione. In alternativa, si sarebbero potuti usare dei casseri prefabbricati in plastica, ma oltre ad essere importati dall'estero richiedevano una spesa maggiore. Altri materiali più economici non garantivano la resistenza di quelli in compensato.

Una volta posizionato il primo corso di casseri si è potuto procedere con le gettate di calce-canapa. Il composto, una volta miscelato, è stato trasportato in piccole quantità all'interno di secchielli e poi versato all'interno dello spazio creato dai casseri. A questo punto è stato compattato manualmente attraverso degli strumenti molto semplici in legno, prestando però attenzione a non applicare troppa pressione, in quanto una maggior densità comporterebbe una minor efficienza termica. Passate solitamente 12 ore, si procede allo smantellamento dei casseri. Il composto, dopo poche ore dall'applicazione, mostrava subito una discreta plasticità risultando tuttavia ancora

molto umido. Uno dei principali svantaggi legati all'impegno di questo materiale è la notevole quantità di tempo necessaria per il processo di essiccazione.

I casseri permettevano di procedere realizzando ogni volta un nuovo corso alto circa 45 cm; una volta raggiunta una certa altezza si è dovuto ricorrere all'impiego di un'impalcatura.

I fori lasciati nella parete dai distanziatori dei due pannelli che componevano il cassero, sono stati riempiti con tappi di bottiglia in sughero e poi sigillati con calce-canapa. Una volta smontato il cassero, la superficie della parete risulta già liscia, non richiedendo perciò ulteriori lavorazioni se non piccoli interventi. Alcune foto scattate durante la realizzazione delle pareti hanno messo in mostra i corsi sovrapposti, facilmente riconoscibili grazie alla variazione di colore dovuta all'essiccazione non ancora omogenea. Inoltre, i due architetti hanno notato un rallentamento di questo processo in seguito all'installazione dei serramenti. Pertanto, questa tecnica risulta essere parecchio laboriosa,

rendendola non molto adatta per progetti di grandi dimensioni.

Con la realizzazione della parete curva, nell'angolo nord-est dell'edificio, Woolley e Bevan hanno voluto dimostrare come l'utilizzo della calce-canapa non sia vincolante nella progettazione. Questa non ha comportato particolari difficoltà rispetto al resto dell'edificio. L'unico accorgimento necessario è stato l'impiego di compensato più sottile per la realizzazione dei casseri curvi.

Una volta concluso il processo di essiccazione, le pareti sono state intonacate all'interno e all'esterno con calce idraulica naturale (NHL 2.5 e 3.5), senza l'utilizzo di strati di controllo del vapore o membrane plastiche.



Calce per il composto in calce-canapa
Fonte: Andrea Grasselli



Canapulo
Fonte: Andrea Grasselli



Componenti della calce-canapa
Fonte: Andrea Grasselli



Applicazione di travetti in legno utili come "appiglio" per la calce-canapa
Fonte: Matt Fawcett

4.2.2 - Workshop a Manchester

Nei giorni 21 e 22 febbraio 2020, mi è stata data la possibilità di partecipare a un workshop a Manchester organizzato dalla cooperativa Carbon Co-op, specializzata nel fornire un aiuto, alle persone e alle comunità, a ridurre fortemente le emissioni di anidride carbonica legate agli edifici. Il laboratorio, incentrato sull'utilizzo della calce-canapa, è stato gestito da Woolley e da Graham Durrant, proprietario della Hemp Lime Spray Ltd. Oltre a fornire delle nozioni teoriche riguardo le proprietà del materiale, l'obiettivo principale del workshop è stato quello di realizzare, assieme a tutti i partecipanti, un intervento di isolamento interno di una parete di un edificio poco distante. In questa occasione ho avuto così modo di conoscere, anche a livello pratico, la tecnica del "getto".

L'ambiente di cui faceva parte la parete da isolare mostrava evidenti problemi causati dall'umidità. La calce-canapa si applica molto bene a questo tipo di interventi in quanto, grazie alle proprie caratteristiche igroscopiche, aiuta

nella gestione del livello di umidità dell'aria, garantendo inoltre un miglioramento delle prestazioni termiche.

Il composto è stato miscelato utilizzando una comune betoniera da cantiere e le proporzioni, in termini di volume, sono state quantificate utilizzando il secchiello come unità di misura. Inizialmente è stato versato all'interno del macchinario 1 secchiello di acqua unito a 1 di calce per poi essere lasciati a miscelare per circa un minuto. Dopodiché si aggiungeva circa 3/4 secchielli di canapa, avendo l'accortezza di cambiare più volte l'inclinazione della betoniera in modo tale da ottenere un composto il più possibile omogeneo. Ogni volta, completata questa operazione, si estraeva una piccola quantità di materiale e la si compattava a mano in modo tale da creare una piccola sfera, per verificare che questa avesse la giusta consistenza.

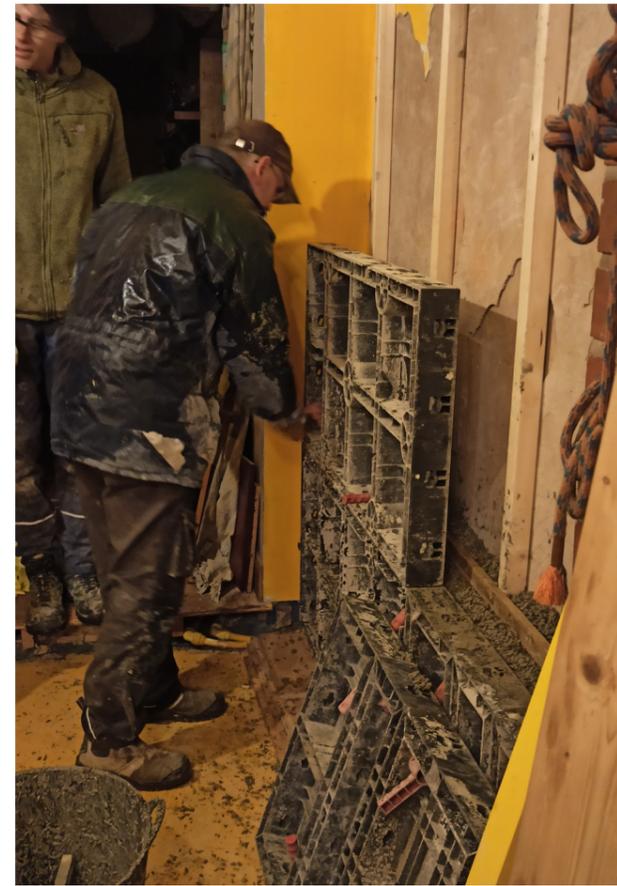
Contro il muro sono stati fissati dei listelli verticali in legno utili a far "aggrappare" il

materiale. Terminata questa operazione, si procede alla posa dei casseri alla distanza desiderata; in questa occasione sono stati usati degli elementi prefabbricati in plastica, bloccati tra loro da perni del medesimo materiale. L'intercapedine creata, di circa 15 cm, riempita dal composto, il quale, una volta gettato, era pressato manualmente con appositi strumenti. L'operazione è stata ripetuta fino ad arrivare al soffitto, smontando e rimontando ogni volta i corsi di casseri. L'ultimo strato, non essendoci lo spazio necessario per compattare dall'alto, è stato realizzato pressando la calce-canapa a mano, senza l'utilizzo di casseri. Quest'ultima parte ha richiesto una ulteriore operazione di rasatura in modo da livellare la superficie con la porzione sottostante. La contro-parete è stata completata in due pomeriggi di lavoro; considerando l'inesperienza dei partecipanti del workshop e l'obiettivo puramente dimostrativo dell'evento, è facile presumere che, con operai specializzati, sarebbe stata impiegata la metà del tempo.

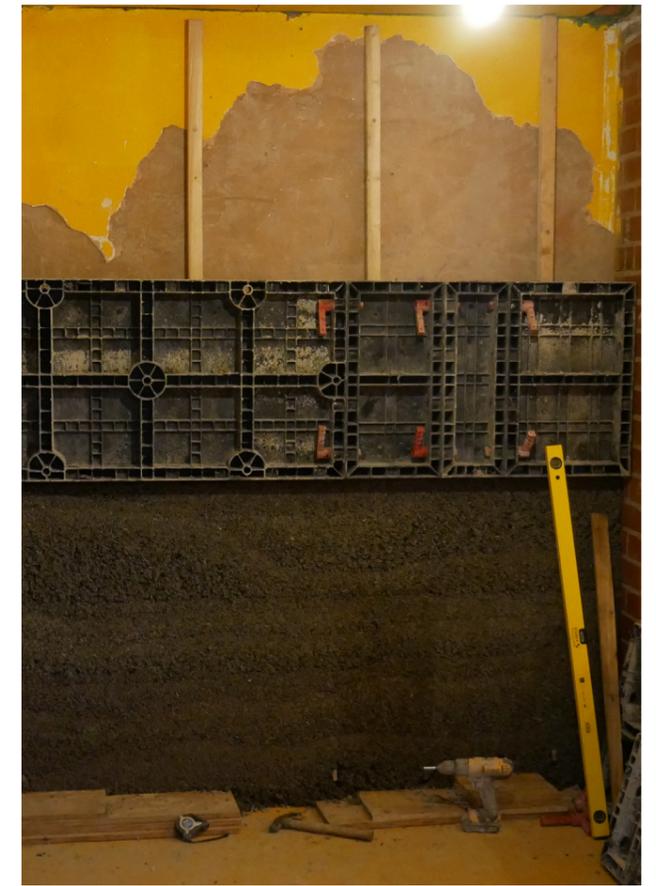
I partecipanti al laboratorio, tra cui geometri, muratori e professionisti del restauro, sono rimasti piacevolmente sorpresi dai numerosi vantaggi legati al materiale e alla facilità di applicazione, condividendo la necessità di incrementare l'utilizzo di materiali naturali e traspiranti.



Posizionamento del primo corso di casseri in plastica
Fonte: Matt Fawcett



Posizionamento del secondo corso di casseri
Fonte: Andrea Grasselli



Controparete in calce-canapa durante la sua realizzazione
Fonte: Andrea Grasselli



Completamento della controparete in calce-canapa
Fonte: Andrea Grasselli



Controparete in calce-canapa
Fonte: Andrea Grasselli



Hemp Cottage - Falda della copertura con tetto verde
Fonte: Rachel Bevan Architects ©

4.3 - Copertura

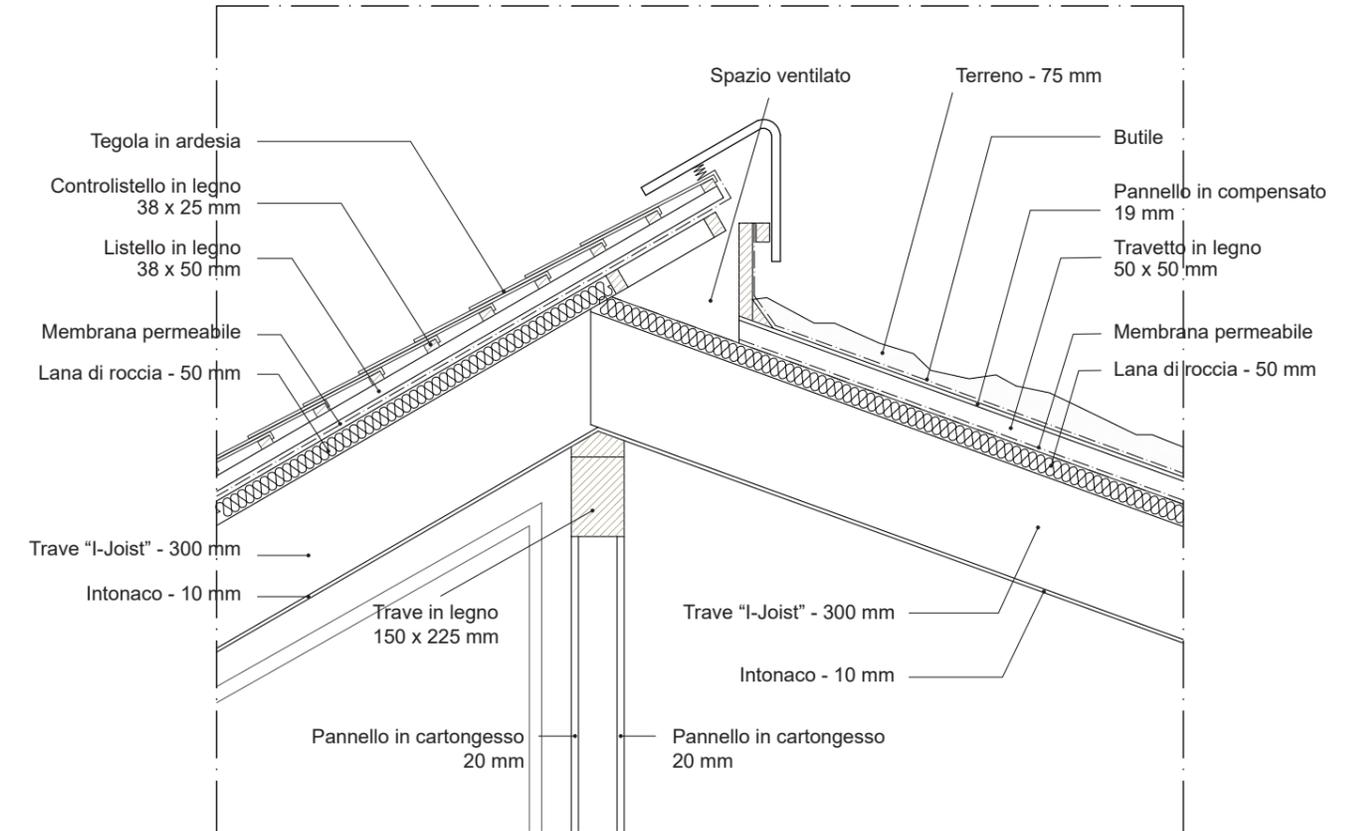
I materiali e le tecniche della copertura dell'Hemp Cottage sono in linea con i principi che Woolley e Bevan portano avanti da anni. Vale la pena aggiungere qualche informazione riguardo la scelta di utilizzare la lana di pecora come isolante, e di ricorrere a un tetto verde.

Inizialmente, i progettisti erano intenzionati a realizzare un tetto verde in entrambe le falde. Tuttavia, per la falda rivolta verso la strada, si è poi deciso di adottare una tecnica che si uniformasse con quella degli edifici circostanti. I vantaggi che hanno spinto i due architetti a scegliere il tetto verde sono molteplici:

- La vegetazione richiede una bassa manutenzione. In Irlanda, è frequente riutilizzare le zolle rimosse durante lo scavo e lo strato di terreno utilizzato è di pochi centimetri.
- Contribuisce ad enfatizzare l'apparenza naturale dell'edificio.
- Riduce l'impiego di materiali ad alta embodied energy. Tuttavia, una copertura verde è spesso legata all'utilizzo di materiali sintetici per la

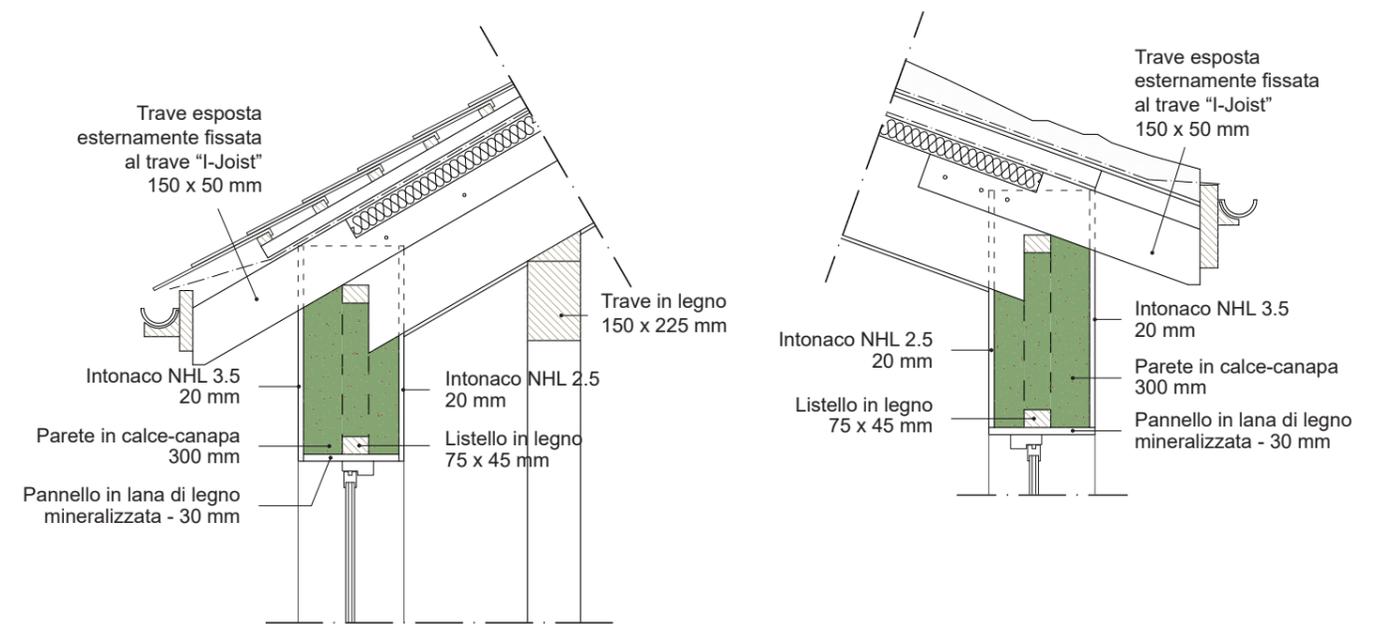
realizzazione del sistema di isolamento o per gli strati impermeabilizzanti e anti-radice. [5]

L'impiego della lana di pecora come principale materiale isolante della copertura, posizionata nell'intercapedine tra gli "I-Joist", è conseguenza dell'idea di utilizzare il più possibile materiali naturali. Il materiale, apprezzato per la sua rinnovabilità ed il prezzo contenuto, è stato acquistato dall'azienda Black Mountain. Come gli altri materiali isolanti naturali, la lana di pecora è una fibra igroscopica ed è quindi in grado di assorbire, immagazzinare e rilasciare l'umidità. È biodegradabile e può quindi essere compostata nel terreno per arricchire il suolo e rimanere parte del ciclo naturale della terra. Non ci sono problemi di salute dovuti alle lavorazioni subite dal materiale durante il processo di produzione.



Elaborato n.6: Nodo tecnologico dell'unione tra le falde della copertura
Scala 1:20

Calce-canapa

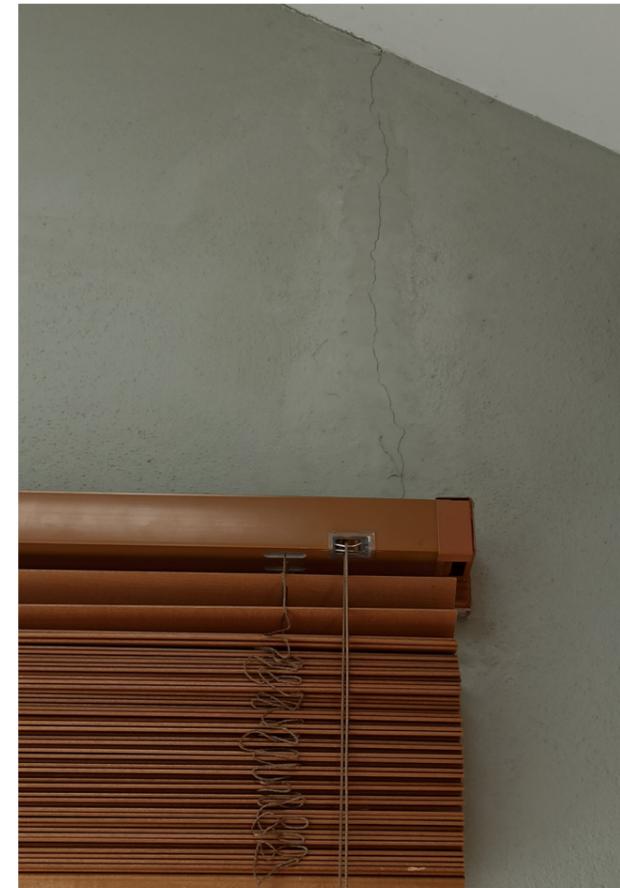


Elaborato n.7: Nodo tecnologico parete perimetrale - falda sud
Scala 1:20

Elaborato n.8: Nodo tecnologico parete perimetrale - falda nord
Scala 1:20



Segni di degrado riscontrati sul prospetto sud
Fonte: Andrea Grasselli



Segni di degrado riscontrati all'interno della camera da letto dei bambini
Fonte: Andrea Grasselli



Segni di degrado riscontrati sul prospetto est
Fonte: Andrea Grasselli

4.4 - Problemi, manutenzione, degrado

Il 24 febbraio 2020, durante il sopralluogo all'Hemp Cottage, ho potuto riscontrare le ottime condizioni in cui si trovava. L'edificio, terminato nel 2009, conserva tutti i suoi elementi costruttivi originali e non ha presentato degradi di tipo strutturale.

Gli unici segni di degrado, sia internamente che esternamente, sono legati allo strato di finitura in Natural Hydraulic Lime (NHL):

- Esterno: La finitura bianca a base di calce presenta su tutti e quattro i prospetti, in particolare quello rivolto ad est, degli aloni grigi e marroni causati principalmente dall'umidità atmosferica e accentuati vicinanza al fiume. Secondo Woolley, i degradi riscontrati sono normali vista la natura permeabile e igroscopica della calce, considerando inoltre una vita dell'edificio di ormai più di 10 anni.

È stato messo in programma un intervento di manutenzione, nel quale è prevista l'applicazione di un nuovo strato di finitura in calce sull'attuale superficie.

- Interno: Una volta terminata la finitura bianca in NHL 2.5, è stata applicata una tinta naturale

a base di argilla di diversi colori. In alcuni punti del cottage, in particolare nelle due stanze da letto, ho potuto riscontrare diverse crepe. Parlando con Woolley sono stato rassicurato del fatto che tali difetti riguardano solamente lo strato superficiale. La causa principale può essere stata la lieve contrazione subita dalla miscela in calce-canapa durante il suo processo di essiccazione.

A causa dell'eccezionale caldo registrato durante la sua realizzazione, la fase di essiccazione è risultata troppo veloce. Nonostante il tentativo di ritardare il processo, bagnando ogni notte le superfici, la finitura ha riportato diverse crepe evidenti. Il problema è stato però relativamente facile da risolvere; è bastato infatti applicare un ulteriore strato di calce per riparare, e al tempo stesso uniformare, la superficie esterna delle pareti.

Questo episodio ha permesso di capire come la pianificazione delle fasi di realizzazione di un edificio, debba essere fatta tenendo in grande considerazione le possibili condizioni climatiche in cui ci si potrebbe trovare.

Un'altra problematica affrontata è stata l'ottenimento dei permessi necessari a costruire un edificio con pareti perimetrali in calce-canapa. L'Hemp Cottage è stato il primo nell'Irlanda del Nord fungendo così da apripista. L'ente con cui Woolley e Bevan hanno dovuto dialogare frequentemente è stato il Building Control Northern Ireland (BCNI), un raggruppamento volontario dei Building Control Departments of the Eleven Local Councils. Il BCNI ha la responsabilità di garantire che il Regolamento Edilizio venga applicato correttamente. Per ottenere le approvazioni occorre rispettare gli standard che includono requisiti in materia di salute, stabilità strutturale, sicurezza antincendio, risparmio energetico e accessibilità. Infine, completato l'edificio ed accertato che tutti i regolamenti edilizi siano stati rispettati, il Building Control rilascia un "certificato di completamento".

L'iter descritto è quello a cui ogni edificio deve essere sottoposto ma, nel caso dell'Hemp Cottage, è stata necessaria molta più documentazione, in modo tale da provare

l'affidabilità del materiale e della tecnica costruttiva adottati. A tale scopo, si sono rivelate estremamente utili le informazioni raccolte per la stesura del libro Hemp Lime Construction. Grazie al buon rapporto con il Building Control e all'interesse mostrato da questo verso l'edificio, in quanto possibile caso studio per eventuali ricerche, lo sforzo per ottenere le approvazioni è stato supportato anche a livello economico dallo stesso ente.

Secondo Woolley, le approvazioni riguardo l'utilizzo di materiali naturali da costruzione rimangono tutt'ora difficili da ottenere. A dimostrazione di ciò, nel 2019, i due architetti hanno preso in carico la progettazione di una residenza monofamiliare con pareti in calce-canapa in Scozia, dove non sono ancora disponibili le norme relative all'impiego di questo materiale. Per essere approvata la calce-canapa deve dimostrare di rispettare gli standard richiesti ma il percorso burocratico si sta rivelando ancora piuttosto complesso e costoso da affrontare.

Note

[1] Tom Woolley, *Natural Building. A Guide to Materials and Techniques*, Ramsbury: The Crowood Press, 2006, p. 11.

[2] Tom Woolley, *Natural Building. A Guide to Materials and Techniques*, Ramsbury: The Crowood Press, 2006, p. 41.

[3] <https://passivehouseplus.ie/articles/design-approaches/hempcrete-retreat> [01/09/2020]

[4] <http://www.americanlimetechnology.com/tradical-hemcrete/> [23/08/2020]

[5] Tom Woolley, *Natural Building. A Guide to Materials and Techniques*, Ramsbury: The Crowood Press, 2006, pp. 106-108-109-111.

05

CALCOLO QUANTITÀ DEI MATERIALI, INDICATORI PEI E GWP

5.1 - Banche dati e criteri di selezione dei valori

5.2 - Calcoli relativi alle quantità dei materiali

5.3 - Calcoli valori PEI e GWP tramite

ÖKOBAUDAT

5.4 - Calcoli valori PEI e GWP tramite ICE

5.5 - Confronto con casi studio



Immagine simbolica dello sviluppo sostenibile
Fonte: <https://endurancecloud.com/lo-sviluppo-sostenibile/>

05 - Calcolo quantità dei materiali, indicatori PEI e GWP

Le prestazioni ambientali dei prodotti e dei processi sono diventate una questione fondamentale. Molte realtà aziendali hanno trovato vantaggioso innovarsi mediante l'uso di strategie preventive dell'inquinamento e sistemi di gestione ambientale per migliorare le loro prestazioni. Uno degli strumenti maggiormente utilizzati per raggiungere questo obiettivo è l'analisi LCA (*Life Cycle Assessment*), con la quale si valuta l'impatto ambientale di un prodotto per l'intero ciclo di vita, comprendendo anche gli impatti spesso non considerati in analisi più tradizionali, come ad esempio; l'estrazione delle materie prime, il trasporto del materiale e lo smaltimento del prodotto finale. ^[1]

La valutazione degli impatti sull'ambiente avviene attraverso parametri in grado di rappresentare i consumi di risorse e le emissioni di gas climalteranti. Nel caso dell'Hemp Cottage la valutazione si basa su due indicatori di sostenibilità: l'"energia grigia" (MJ) e il *global warming potential* o potenziale di riscaldamento globale (kgCO₂eq).

L'"energia grigia", detta anche *Embodied*

Energy (EE) o *Primary Energy Intensity* (PEI), si definisce come l'energia necessaria al prodotto durante tutto il suo ciclo di vita, dall'estrazione della materia prima e la lavorazione, passando per il trasporto, fino allo smaltimento; l'unità di misura è il Megajoule (MJ).

Il valore di energia grigia di un prodotto dipende dal tipo di processo di produzione cui è stato sottoposto ma anche da una serie di numerosi fattori tra i quali l'efficienza energetica dei macchinari utilizzati, la distanza di approvvigionamento delle materie prime, le modalità di trasporto adottate, le possibili fonti di energia impiegate e il mix energetico caratteristico di ogni area geografica. ^[2]

L'altro indice fondamentale per classificare l'impatto ambientale è il potenziale di riscaldamento globale o *Global Warming Potential* (GWP), espresso in kgCO₂eq. Il quale rappresenta la quantità di anidride carbonica e gas a effetto serra liberati dalla produzione di un'unità di prodotto.



Logo Università di Bath
Fonte: <https://www.bath.ac.uk/>

5.1 - Banche dati e criteri di selezione dei valori

Al fine di conoscere l'impatto ambientale dell'Hemp Cottage, è stato necessario associare a ogni materiale impiegato i valori di *embodied energy* e di *embodied carbon*.

Tali valori sono stati reperiti nelle banche dati delle piattaforme *Ökobaudat* e *ICE (The Inventory of Carbon and Energy)*, le quali, essendo di libero accesso e facilmente comprensibili hanno velocizzato le operazioni di calcolo.

La prima è fornita dal Ministero Federale Tedesco degli Interni e dell'Edilizia, la seconda è stata realizzata dal Sustainable Energy Research Team (SERT) dell'Università di Bath (UK).

Nonostante la quantità di valori forniti dai database, essi non possono coprire l'intera gamma di modalità in cui i materiali vengono effettivamente lavorati e pertanto forniscono solo dei valori legati alle tecniche di produzione più convenzionali.

Nonostante alcune criticità, l'utilizzo dei valori delle due banche dati risulta essere un metodo



Logo Ministero Federale Tedesco degli Interni e dell'Edilizia
Fonte: <https://www.oekobaudat.de/>

affidabile per avere una stima dell'energia grigia utilizzata e dell'*embodied carbon* prodotta.

In assenza di valori appropriati al materiale preso in considerazione si è ricorsi all'utilizzo delle dichiarazioni EPD (*Environmental Product Declaration*), uno strumento di comunicazione fra produttori, distributori e consumatori, con il quale vengono fornite informazioni dettagliate sull'impatto ambientale.

Il calcolo dell'energia grigia e delle emissioni di gas climalteranti ha riguardato le fasi di produzione e costruzione dell'edificio, non considerando quindi l'energia utilizzata per il trasporto del materiale, quella impiegata durante le fasi di cantiere e l'energia necessaria per l'uso dell'edificio. Anche i consumi elettrici e il riscaldamento dell'edificio durante la sua vita utile non sono stati inclusi a causa della difficoltà nella quantificazione di tali valori. ^[2]

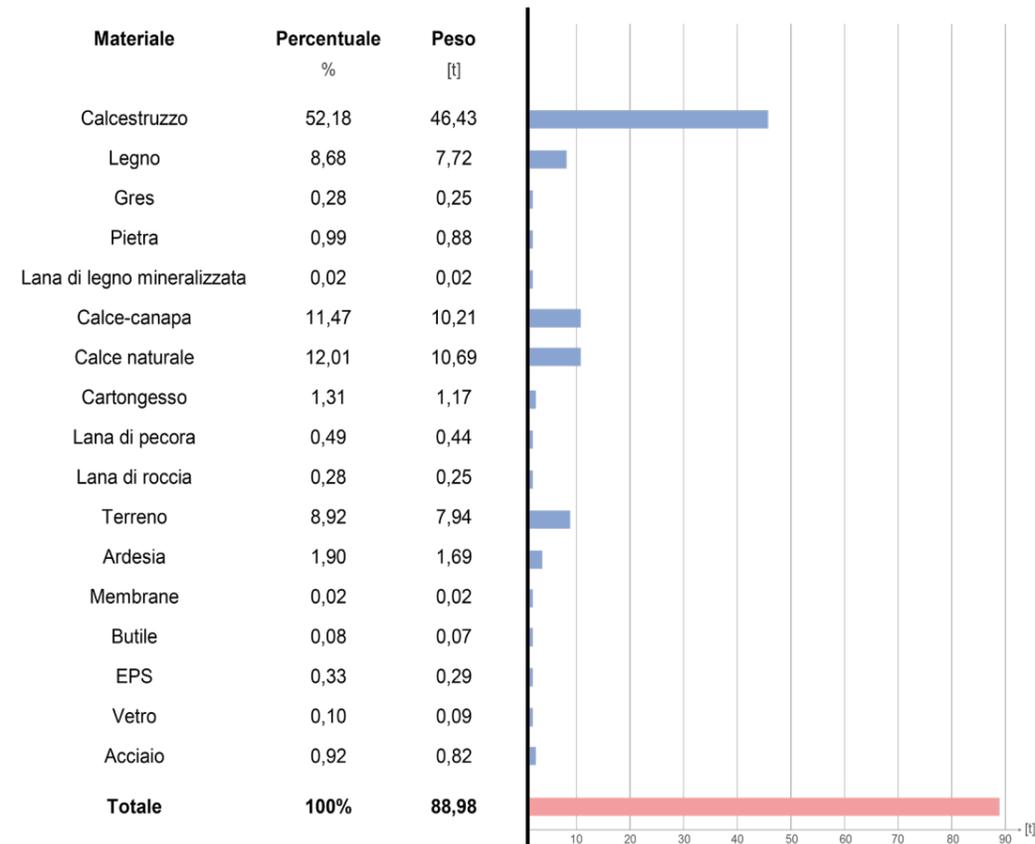


Tabella n.1: Peso dei materiali

5.2 - Calcoli relativi alle quantità dei materiali

L'edificio presenta un'area di 88 m² e un peso totale di 88.98 tonnellate, ovvero 1.01 tonnellate per metro quadrato.

Il 52,18% del peso totale dell'edificio è costituito dalle fondazioni in calcestruzzo e dai plinti posti alla base dei pilastri della struttura principale.

Le pareti perimetrali in calce-canapa, rivestite da 2 cm di intonaco in calce idraulica naturale su entrambe le facciate, influiscono invece per il 23.48%. È interessante osservare come il peso dei due componenti, se pur in un volume molto differente (5,71 m³ calce idraulica naturale e 30,94 m³ la calce-canapa), sia quasi il medesimo: 10.69 t la calce idraulica naturale e 10.21 t la calce-canapa. Questo è dovuto alla bassa densità presentata dal materiale biocomposito, ovvero 330 kg/m³.

La somma dei materiali naturali costituisce il 33,55% del totale. Tra questi possiamo distinguere quelli di origine vegetale: il legno l'8.68% (7.72 t), la calce-canapa l'11.47% (10.21 t).

Gli altri materiali di origine naturale sono: la

terra con l'8.92% (7.94 t), l'ardesia per l'1.9% (1.69 t), la pietra lo 0.99% (0.88 t) e la lana di pecora con 0.49% (0.44 t).

| Materiale | Peso [t] | PEI [MJ] | GWP [kgCO ₂ eq] |
|-----------------------------|----------------|---------------------|-----------------------------------|
| Calcestruzzo | 46,43 | 51719,3 | 6360,45 |
| Legno | 7,72 | 172190,75 | -10213,77 |
| Gres | 0,25 | 3010,52 | 77,87 |
| Pietra | 0,88 | 20094,1 | 1196,98 |
| Lana di legno mineralizzata | 0,02 | 5987,35 | 230,87 |
| Calce-canapa | 10,21 | 52522,26 | -4160 |
| Calce Naturale | 10,69 | 17893,87 | 2330,33 |
| Cartongesso | 1,17 | 51738,31 | 3115,59 |
| Lana di pecora | 0,44 | 5538,76 | 259,33 |
| Lana di roccia | 0,25 | 3354,83 | 311,23 |
| Terreno | 7,94 | x | x |
| Ardesia | 1,69 | 12889,8 | 769,3 |
| Membrane | 0,02 | 1587,09 | 43,76 |
| Butile | 0,07 | 5631,78 | 207,3 |
| EPS | 0,29 | 26500,5 | 908,87 |
| Vetro | 0,09 | 7734,1 | 575,86 |
| Acciaio | 0,82 | 43795,2 | 2819,11 |
| Totale | 88,98 t | 482188,52 MJ | 4833,08 kgCO₂eq |
| | | 482,19 GJ | 4,83 tCO ₂ eq |

Tabella n.2: Riepilogo pesi, valori PEI e GWP secondo Ökobaudat

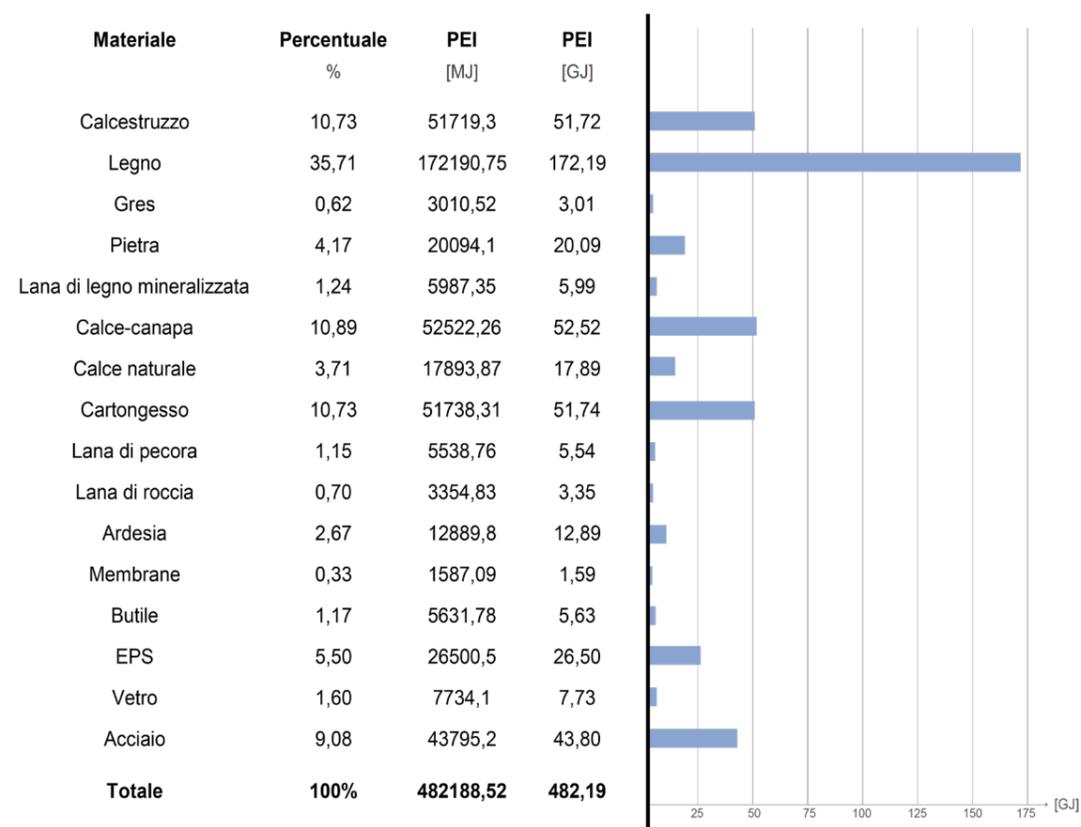


Tabella n.3: Valori PEI secondo Ökobaudat

5.3 - Calcoli valori PEI e GWP tramite ÖKOBAUDAT

Nel caso della banca dati di Ökobaudat il valore PEI di un materiale viene ottenuto sommando gli indicatori PERT (*Total use of renewable primary energy resources*) e PERNT (*Total use of non-renewable primary energy resources*) legati alle fasi A1-A2-A3. È importante osservare con attenzione l'unità di misura a cui tali indicatori fanno riferimento.

Un passaggio fondamentale, necessario a realizzare la valutazione ambientale, è stato la stesura di un elenco di tutti i materiali con le rispettive quantità, a cui sono stati poi associati i relativi valori PEI e GWP.

Mancando un computo metrico, è risultato cruciale il contributo del repertorio fotografico dello stato attuale dell'edificio e delle fasi di cantiere, insieme alle piante e alle sezioni tecniche. Grazie a queste fonti è stato possibile individuare nel dettaglio i singoli componenti dell'Hemp Cottage e realizzare un modello 3D dettagliato.

I materiali lignei dell'edificio, nonostante siano

stati accorpati nelle tabelle sotto l'unica voce "legno", sono in realtà molteplici; per la struttura principale è stato utilizzato l'Abete Douglas, Pich Pine per le porte interne, il telaio delle finestre e i davanzali. Per i valori PEI e GWP relativi alle travi I-Joist, composte da un'anima in OSB e da flange in legno di conifere, è stata utilizzata la dichiarazione EPD fornita dall'azienda produttrice.

La maggior parte degli altri elementi lignei sono stati realizzati utilizzando legno di pino, compresa l'armatura immersa nelle pareti in calce-canapa.

Per ottenere il valore PEI della calce-canapa sono stati necessari alcuni calcoli aggiuntivi: per prima cosa sono state trovate le corrette proporzioni dei singoli componenti nel composto (canapulo, calce e cemento), dopodiché è stato possibile ricavare il peso in Kg di ciascuno di essi. Una volta ottenuti tali valori, sono stati associati ad essi i relativi indicatori PEI, per poi ottenere dalla somma di questi quello finale della calce-canapa. Questa operazione è stata

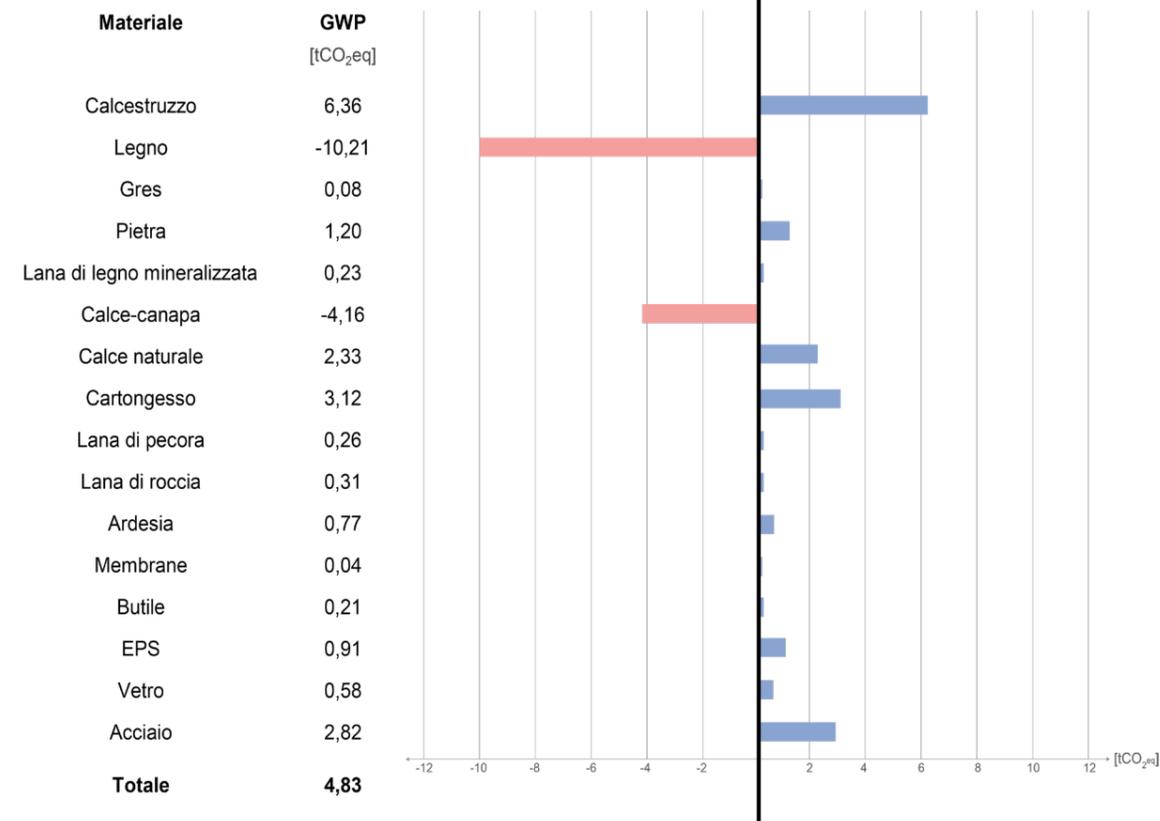


Tabella n.4: Valori GWP secondo Ökobaudat

effettuata sia con i valori trovati all'interno di Ökobaudat, sia con quelli di ICE. Il valore GWP è stato invece ottenuto da fonti rilasciate dal produttore del materiale biocomposito.

Elementi come la membrana permeabile ed il butile, entrambi applicati nella stratigrafia che compone la copertura, non avendo dimensioni specifiche, si è cercato da cataloghi modelli simili in modo da riportare i dati mancanti. Le piastre in acciaio utilizzate nella struttura principale in legno sono state quantificate in base al repertorio fotografico relativo alle fasi di cantiere dell'edificio.

Nel calcolo dei valori PEI e GWP non sono stati considerati elementi realizzati con materiali di recupero.

Il valore totale dell'indicatore PEI è 482188,5 MJ, ovvero 482,18 GJ e rapportato alla superficie interna lorda dell'edificio risulta essere di 5,47 GJ/m².

Gli elementi che incidono maggiormente nel

calcolo sono: il legno (172,19 GJ) con il 35,7%, la calce-canapa (52,52 GJ) per il 10,89%, il cartongesso (51,74 GJ) con il 10,73% e il calcestruzzo (51,72 GJ) con anch'esso il 10,73%.

Un elemento pesante come il calcestruzzo, il quale, nel calcolo delle quantità, costituisce il 52,18% del peso totale, in questo caso ha valori relativamente contenuti. Materiali di origine vegetale, come il legno e la calce-canapa, presentano invece valori molto alti di *embodied energy*.

La grande differenza sta però nella percentuale dell'energia primaria rinnovabile e non rinnovabile, attribuita ai materiali vegetali e a quelli artificiali. Il calcestruzzo infatti presenta una percentuale di energia non rinnovabile (PERNT) del 92%, mentre quella del legno è solo al 12,9% (dato ottenuto facendo la media tra i valori delle differenti tipologie di legno impiegato).

Nel calcolo del potenziale di riscaldamento



Anidride Carbonica



Metano



Protossido di Azoto



Clorofluoro Carburi



Esafluoruro di zolfo

Principali gas climalteranti
Fonte: Andrea Grasselli

globale sono presenti anche i valori negativi legati ai materiali di origine vegetali che, durante la loro vita come piante, assorbono la CO₂ durante il processo di fotosintesi. Nel caso dell'Hemp Cottage a presentare tali valori sono il legno (- 10213,77 kgCO₂eq) e la calce-canapa (- 4160 kgCO₂eq); nel caso di quest'ultimo materiale è la componente legata alla canapa a far sì che vi sia un apporto negativo in termini di *embodied carbon*.

Il materiale che maggiormente pesa nel conteggio del GWP è il calcestruzzo con 6360,45 kgCO₂eq.

Il GWP totale è di 4.83 tCO₂eq con un valore per metro quadrato di 0.05 tCO₂eq/m².

| Materiale | Peso [t] | PEI [MJ] | GWP [kgCO ₂ eq] |
|-----------------------------|--------------------|--------------------|--------------------------------------|
| Calcestruzzo | 46,43 | 42248,26 | 5989,04 |
| Legno | 7,72 | 72797,34 | -7661,16 |
| Gres | 0,25 | 3024 | 196,56 |
| Pietra | 0,88 | 1104,01 | 69,22 |
| Lana di legno mineralizzata | 0,02 | 489,72 | 24 |
| Calce-canapa | 10,21 | 59622,07 | -4160 |
| Calce Naturale | 10,69 | 56675,23 | 8340,88 |
| Cartongesso | 1,17 | 7903,98 | 456,67 |
| Lana di pecora | 0,44 | 9187,31 | 259,33 |
| Lana di roccia | 0,25 | 4121,21 | 274,75 |
| Terreno | 7,94 | x | x |
| Ardesia | 1,69 | 928,33 | 59,08 |
| Membrane | 0,02 | 1763,92 | 72,53 |
| Butile | 0,07 | 5313,27 | 218,47 |
| EPS | 0,29 | 26088,27 | 968,74 |
| Vetro | 0,09 | 1296 | 701,57 |
| Acciaio | 0,82 | 16568,48 | 2489,39 |
| Totale | 88,98 t | 309131,4 MJ | 8299,07 kgCO₂eq |
| | | 309,13 GJ | 8,30 tCO ₂ eq |

Tabella n.5: Riepilogo pesi, valori PEI e GWP secondo ICE

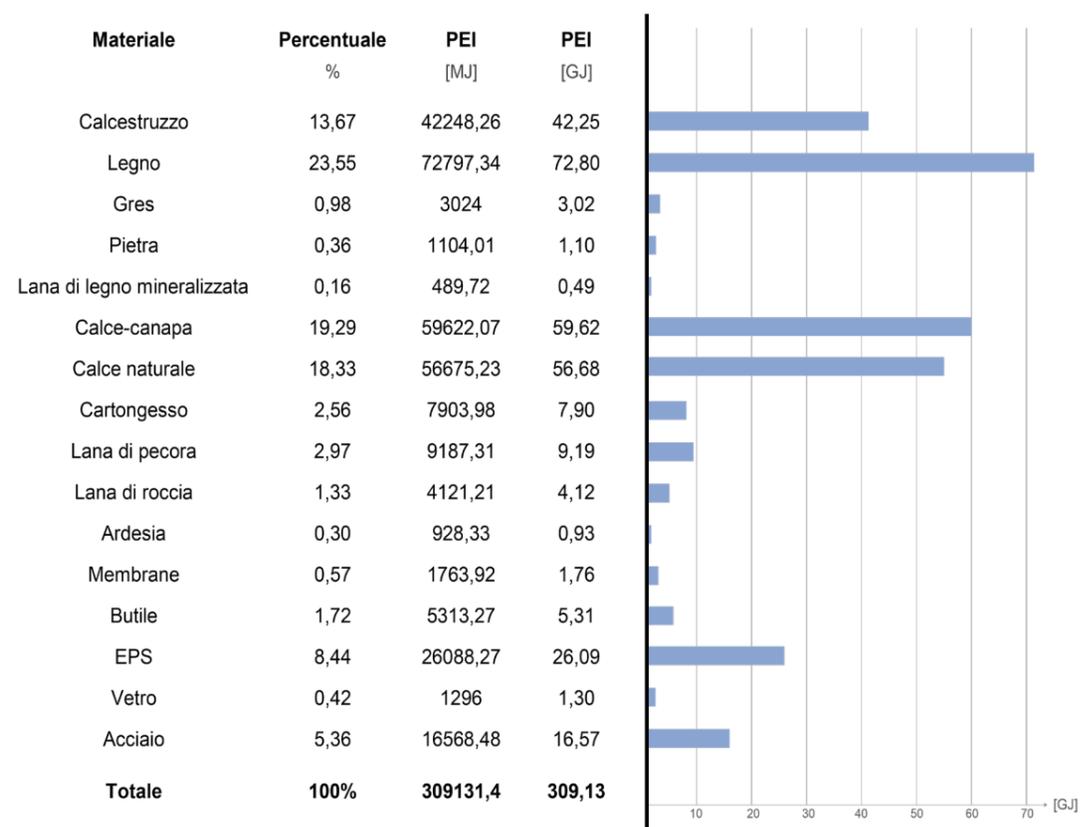


Tabella n.6: Valori PEI secondo ICE

5.4 - Calcoli valori PEI e GWP tramite ICE

Una volta ottenuti i valori dei diversi materiali tramite l'uso del database di *Ökobaudat*, si è deciso di ripetere i calcoli utilizzando il database di *ICE*, al fine di avere un confronto oggettivo.

Le versioni attualmente disponibili della banca dati inglese sono due: la 2.0 del gennaio 2011 e la 3.0 resa disponibile a novembre del 2019. Tra le due versioni ci sono alcune differenze sostanziali; una è la rimozione di tutti i valori di *embodied energy* (EE) dalla versione 3.0 in quanto è stato ritenuto che "*Embodied energy is typically not assessed as part of modern studies. Embodied carbon is considered as a more useful indicator*".^[3]

Per ottenere tali valori si è quindi necessariamente ricorso all'impiego della versione 2.0. L'altra importante differenza è stata l'introduzione nella versione 3.0 dei valori negativi per l'*embodied carbon*, tenendo conto (come *Ökobaudat*) della quantità di CO₂ sequestrata dai materiali di origine vegetale.

Anche in questo caso, i dati mancanti sono stati

ricavati tramite l'impiego di valutazioni EPD o cataloghi di prodotti il più possibile affini.

I risultati ottenuti del consumo di energia primaria (PEI) sono migliori rispetto a quelli di *Ökobaudat*. Il valore totale del PEI è di 309,13 GJ e di 3,51 GJ/m², entrambi minori di quelli ottenuti tramite l'altro database.

Il materiale che maggiormente presenta un valore differente da quello di *Ökobaudat* è il legno; passato da 172,19 GJ a 72,80 GJ rimanendo tuttavia quello che maggiormente influisce sul totale (23,55%). Anche il cartongesso presenta dei valori molto ridimensionati: 7,9 GJ (2,56%) in *ICE* rispetto ai 51,74 GJ (10,73%) riscontrati in *Ökobaudat*.

Altri materiali come il calcestruzzo e la calce-canapa, che in termini di volume e peso hanno una grossa rilevanza, non presentano invece grosse variazioni nei valori PEI rispetto a quelli della banca dati tedesca: il calcestruzzo in *ICE* ha un valore di 42,25 GJ e di 51,72 GJ in *Ökobaudat*, la calce-canapa di 59,62 GJ nel

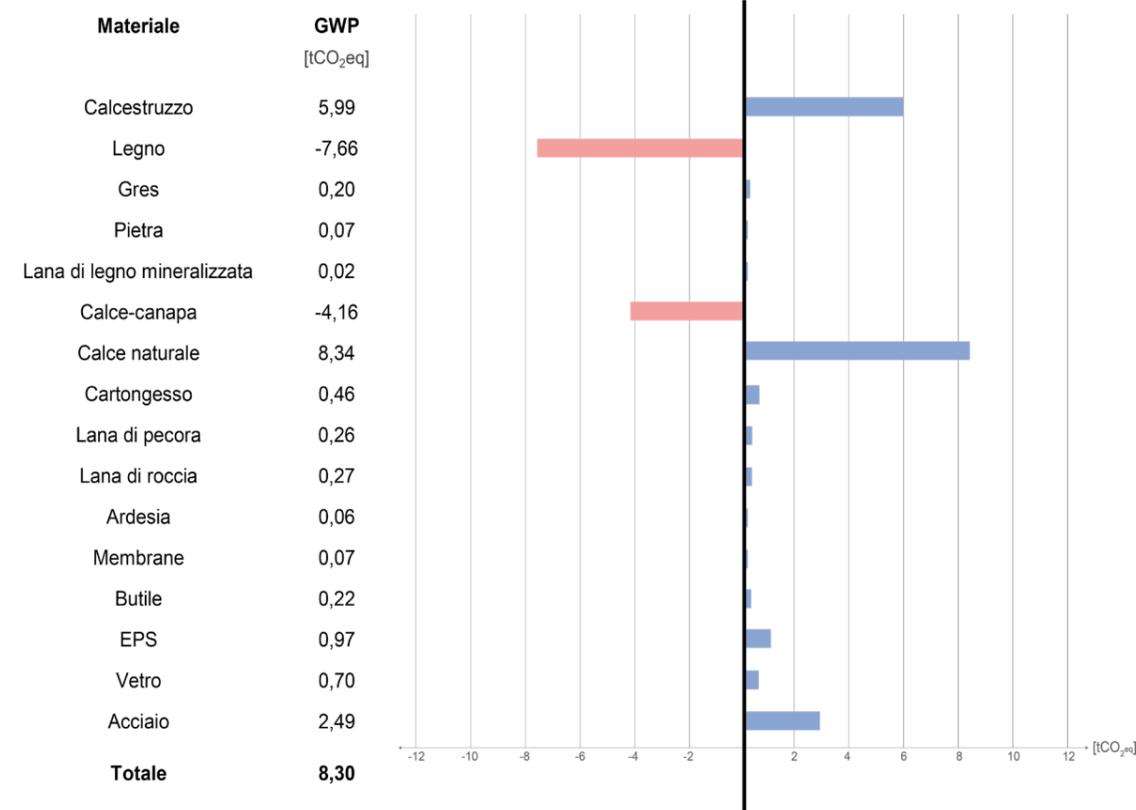


Tabella n.7: Valori GWP secondo ICE

primo e di 52,52 GJ nel secondo. Aumentano invece le percentuali della calce idraulica naturale e dell'EPS: più precisamente la prima passa da 17,89 GJ (3,71% del valore totale PEI) in *Ökobaudat* a 56,68 GJ (18,33%) in *ICE*.

L'EPS, nonostante il peso contenuto di 0,29 t (0,33 % del peso totale), influisce nel calcolo del PEI per l'8,44 % con un valore di 26,09 GJ. Nella tabella ricavata tramite il database tedesco presenta un valore pressoché identico (26,50 GJ) ma influisce in maniera minore (5,5 %).

Con l'introduzione in *ICE* dei valori negativi per il calcolo del GWP, i dati ottenuti si sono sicuramente avvicinati a quelli presentati da *Ökobaudat*.

Il GWP totale è di 8,38 tCO₂eq e di 0,09 tCO₂eq/m² per metro quadrato di superficie, entrambi maggiori di quelli ricavati dalla banca dati tedesca.

Anche qui i materiali che portano un contributo negativo sono il legno con -7,66 tCO₂eq e la calce-canapa con -4,16 tCO₂eq.

Quelli che invece pesano maggiormente sul bilancio delle emissioni di gas climalteranti sono la calce idraulica naturale (8,34 tCO₂eq), il calcestruzzo (5,99 tCO₂eq) e l'acciaio (2,49 tCO₂eq).

| | | area | peso | EE (OBD) | | | EE(ICE) | | | GWP (OBD) | | | GWP (ICE) | | |
|-------------|-------------------|------|---------|----------|-------|---------|---------|-------|-------|-----------|------------|------------|-----------|------------|------------|
| | | m2 | kg | MJ | MJ/kg | MJ/m2 | MJ | MJ/kg | MJ/m2 | kgCO2eq | kgCO2eq/kg | kgCO2eq/m2 | kgCO2eq | kgCO2eq/kg | kgCO2eq/m2 |
| 1 | Hirose House | 114 | 106880 | 196714 | 1,84 | 1726 | 46891 | 0,44 | 411 | -19535 | -0,18 | -171,36 | 2804 | 0,03 | 24,60 |
| 1 (r) | | 114 | 81637 | 196714 | 2,41 | 1726 | 46891 | 0,57 | 411 | -19535 | -0,24 | -171,36 | 2804 | 0,03 | 24,60 |
| 2 | Cheia | 23 | 25738 | 119697 | 4,65 | 5168 | 41458 | 1,61 | 1790 | -12665 | -0,49 | -546,86 | 6055 | 0,24 | 261,45 |
| 2 (r) | | 23 | 21744 | 119697 | 5,50 | 5168 | 41458 | 1,91 | 1790 | -12665 | -0,58 | -546,86 | 6055 | 0,28 | 261,45 |
| 3 | Casa Steila Mar | 572 | 911500 | 2098102 | 2,30 | 3666 | 1017282 | 1,12 | 1777 | -104428 | -0,11 | -182,45 | 71055 | 0,08 | 124,15 |
| 3 (r) | | 572 | 204818 | 2098102 | 10,24 | 3666 | 1017282 | 4,97 | 1777 | -104428 | -0,51 | -182,45 | 71055 | 0,35 | 124,15 |
| 4 | Sandberghof | 411 | 469598 | 1522870 | 3,24 | 3702 | 1129233 | 2,40 | 2745 | -34911 | -0,07 | -84,86 | 78847 | 0,17 | 191,65 |
| 4 (r) | | 411 | 305981 | 1522870 | 4,98 | 3702 | 1129233 | 3,69 | 2745 | -34911 | -0,11 | -84,86 | 78847 | 0,26 | 191,65 |
| 5 | Villa Strohbunt | 103 | 106864 | 152943 | 1,43 | 1480 | 43035 | 0,40 | 416 | -47906 | -0,45 | -463,62 | 22360 | 0,21 | 216,39 |
| 6A | Createrra | 65 | 166427 | 802515 | 4,82 | 12346 | 870105 | 5,23 | 13386 | -14701 | -0,09 | -226,16 | 43971 | 0,26 | 676,48 |
| 6B | Gartist | 125 | 343872 | 2870826 | 8,35 | 22877 | 1462162 | 4,25 | 11652 | -130775 | -0,38 | -1042,11 | 110330 | 0,32 | 879,19 |
| 7 | Bamboo Ark | 176 | 29460 | 253430 | 8,60 | 1439 | 253430 | 8,60 | 1439 | 4845 | 0,16 | 27,51 | 12223 | 0,41 | 69,39 |
| 8 | Biestoa | 153 | 329165 | 1373869 | 4,17 | 8989 | 968785 | 2,94 | 6339 | 25165 | 0,08 | 164,65 | 66277 | 0,20 | 433,63 |
| 9 | Food Hub | 61 | 67683 | 303307 | 4,48 | 4972 | 265489 | 3,92 | 4352 | 3604 | 0,05 | 59,08 | 19844 | 0,29 | 325,31 |
| 10 | Wangeliner Garten | 156 | 340417 | 810835 | 2,38 | 5201 | 1654879 | 4,83 | 10557 | 8665 | 0,03 | 55,58 | 103322 | 0,30 | 662,74 |
| 11 | WISE | 2212 | 1966399 | 15159743 | 7,71 | 6853 | 9732250 | 4,95 | 4400 | -178197 | -0,09 | -80,56 | 687557 | 0,35 | 310,83 |
| 12 | Maruyama-gumi | 183 | 276623 | 1412038 | 5,10 | 7717 | 1205822 | 4,36 | 6590 | 9941 | 0,04 | 54,33 | 96973 | 0,35 | 529,99 |
| 13 | Hemp Cottage | 88 | 88980 | 482188 | 5,41 | 5479 | 309131 | 3,51 | 3512 | 4833 | 0,05 | 54,00 | 8299 | 0,09 | 94,00 |
| Valori medi | | | | | 4,87 | 6543,00 | | 3,47 | 4954 | | -0,16 | -170,20 | | 0,23 | 342,84 |

Tabella n.8: Tabella riassuntiva con i valori dei casi studio

5.5 - Confronto con casi studio

Una volta ottenuti i valori di PEI e GWP dell'Hemp Cottage, è importante confrontarli con quelli di altri casi studio, in modo da avere dei termini di paragone utili a contestualizzare i risultati.

Per questa operazione sono stati scelti gli edifici studiati nel libro *Vegetarian Architecture* di Andrea Bocco Guarneri.

I materiali utilizzati negli edifici sono stati analizzati nel dettaglio ma nei seguenti schemi sono raggruppati in tre macrocategorie: vegetali, artificiali e materiali naturali ma non di origine vegetale.

Questa operazione è stata realizzata con il fine di rendere più facile il confronto.

Va però evidenziato che in *Vegetarian Architecture* è stato usato *ICE* versione 2.0, mentre nel caso dell'Hemp Cottage i valori sono stati calcolati sulla base della versione 3.0, la quale ammette valori negativi di EC: la differenza tra i valori ottenuti con *Ökobaudat* e *ICE* diminuisce quindi notevolmente.

Per quanto riguarda i valori relativi al peso dell'Hemp Cottage (Tab.9) appare subito evidente come la categoria dei materiali non naturali sia quella che maggiormente incide sul totale (63%); fattore dovuto in particolar modo all'impiego di fondazioni in calcestruzzo. La componente vegetale è invece la più bassa (12%). Rispetto agli altri casi studio rimane una delle più basse, tuttavia solo due di queste superano la soglia del 50% (2, 2(r)). I valori percentuali massimi per i materiali naturali non vegetali si riscontrano nei casi 1, 3, 5, 6A, 6B e 7 con soglie che si aggirano tra il 50% e 70%, mentre quella dell'Hemp Cottage è del 25%.

Nel nostro caso è importante precisare che i componenti della calce-canapa sono stati conteggiati separatamente e collocati nelle rispettive categorie.

I casi studio in *Vegetarian Architecture* sono molto differenti tra loro per dimensione, materiali impiegati e tecniche costruttive, pertanto il modo migliore per ottenere un confronto significativo tra essi è calcolare il peso al metro quadrato

(Tab.10). L'Hemp Cottage con 1010 kg/m² risulta in linea con buona parte dei casi (1, 2, 2(r), 4, 5, 9, 11).

Gli edifici più pesanti sono quelli con un sistema costruttivo portante in paglia, 6A e 6B. Gli altri edifici che superano i 2.000 kg/m² sono i casi 8 e 10, entrambi con fondazioni in calcestruzzo. Gli edifici con sistema portante a telaio sono più efficienti dal punto di vista strutturale (meno peso a parità di superficie).

Il valore medio di PEI tra i casi studio (compreso l'Hemp Cottage) è di 4,86 MJ/kg (e 6543 MJ/m²) per *Ökobaudat*, e 3,47 MJ/kg (e 4954 MJ/m²) per *ICE*. I valori dell'Hemp Cottage sono simili a quelli medi: 5,47 MJ/kg (5479 MJ/m²) tramite il database tedesco e 3,51 MJ/kg (3512 MJ/m²) secondo quello inglese.

In entrambi i casi gli apporti maggiori provengono dai materiali non naturali anche se in percentuale di poco superiore a quella dei materiali vegetali. È invece minore il contributo dei materiali naturali non vegetali. (Tab.12-13-14-15)

Per quanto riguarda invece i valori PEI rapportati all'area dell'edificio, il risultato peggiore, secondo *Ökobaudat*, è quello dell'edificio 6B (4 volte superiore all'Hemp Cottage); dovuto anche in questo caso alla sopravvalutazione dell'impatto legato alla componente vegetale. Con *ICE*, spiccano i casi 6A, 6B e 10.

Per quanto riguarda i valori di GWP, secondo *Ökobaudat*, molti dei casi studio (1, 1(r), 2, 2(r), 3, 3(r), 4, 4(r), 5, 6A, 6B, 11) presentano valori negativi. L'Hemp Cottage invece, insieme ai casi rimanenti, ha un valore positivo: 4833,08 kgCO₂eq e di 54 kgCO₂eq/m². (Tab.8-19)

I valori fortemente negativi di GWP/kg (Tab.16) dei casi 2, 2(r), 3(r), 5, 6B sono dovuti all'alta componente di materiali vegetali impiegata nell'edificio. Nel caso dell'Hemp Cottage, nonostante l'utilizzo di una struttura portante in legno e di una discreta percentuale di canapa all'interno delle pareti perimetrali, non si riesce ad ottenere un valore negativo di GWP. L'apporto negativo legato alla componente

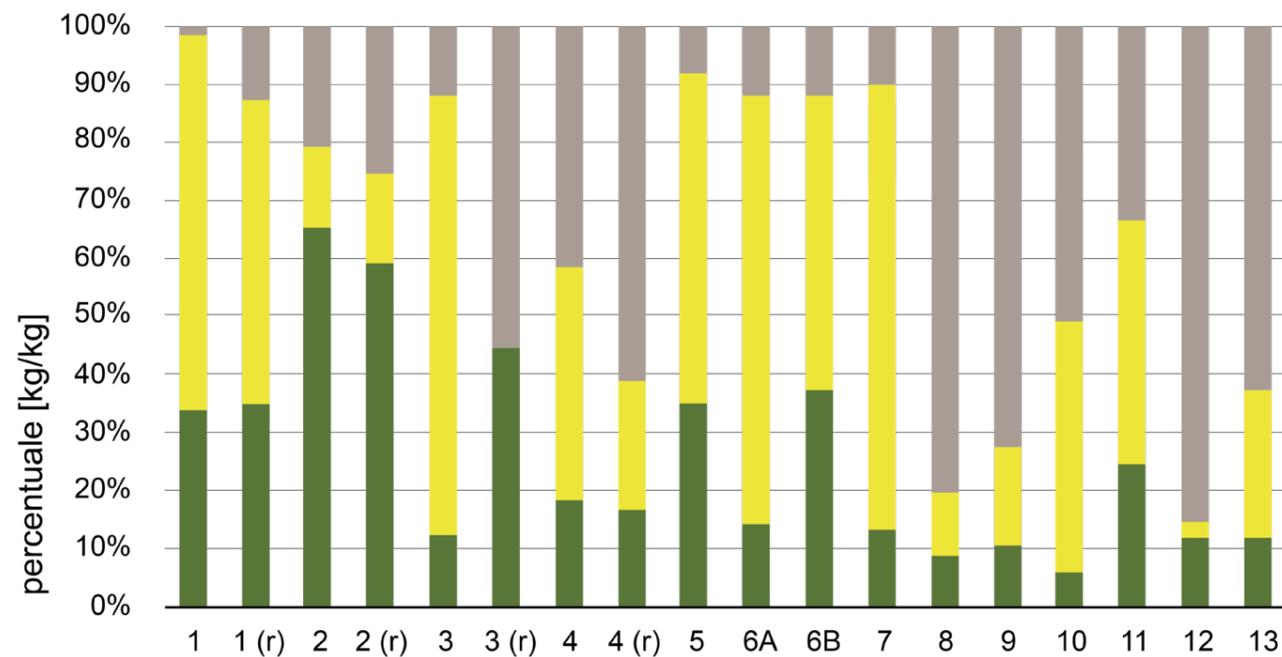


Tabella n.9: Percentuale della categoria di materiale rispetto al peso totale

vegetale dell'edificio è contrastato, e superato, da quello positivo dovuto in particolar modo al calcestruzzo delle fondazioni e al largo utilizzo di calce (nell'intonaco e nel composto delle pareti perimetrali).

Tutti i casi studio calcolati con *ICE 2.0* hanno valori di GWP positivi. Anche l'Hemp Cottage, nonostante sia stato calcolato con i valori della nuova versione del database, mantiene un valore positivo: 8299 kgCO₂eq e di 94 kgCO₂eq/m² (Tab.8-19), entrambi superiori a quelli ottenuti con il database tedesco.

Con *ICE*, la contabilizzazione dei soli valori positivi ha permesso di visualizzare i contributi delle diverse categorie di materiali, tuttavia questo tipo di visualizzazione dei dati è stato cambiato in modo tale da rendere più facile il confronto con i valori dell'Hemp Cottage.

Si nota comunque come i materiali non naturali abbiano contribuito in maniera determinante sul totale, sia per quanto riguarda i valori di GWP al kg che per quelli al metro quadrato.

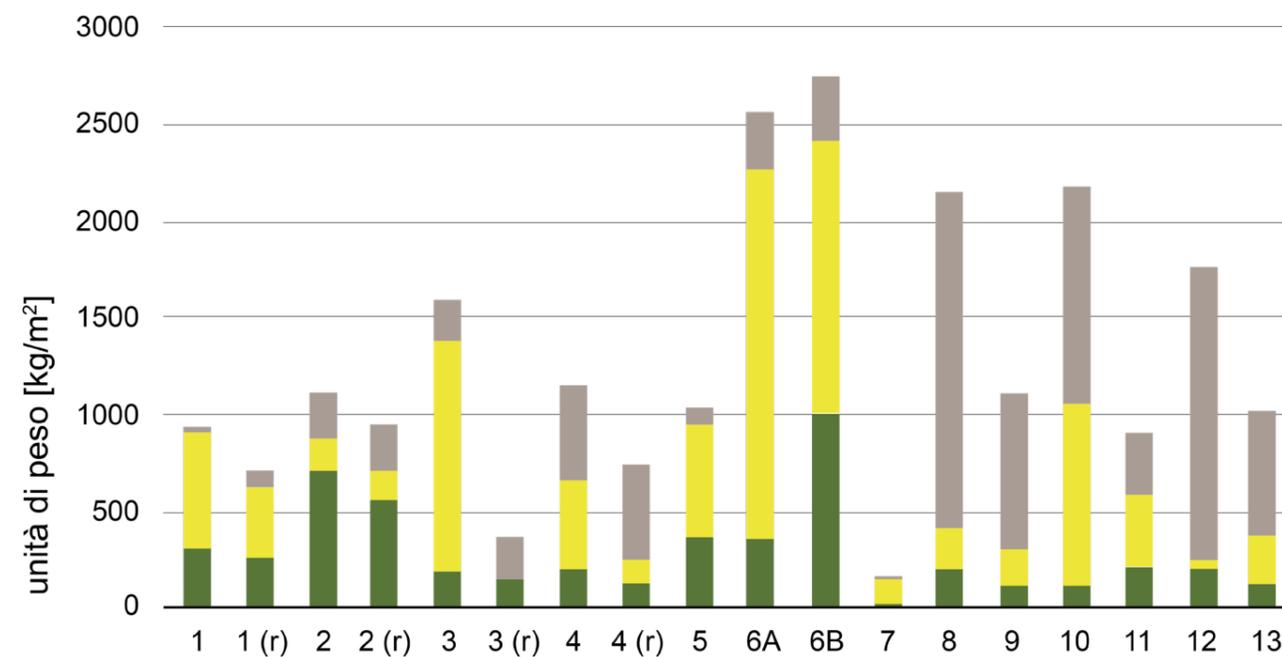


Tabella n.10: Valore dato dal rapporto kg/m²

■ vegetale ■ altro naturale ■ altro ■ paglia ■ legno

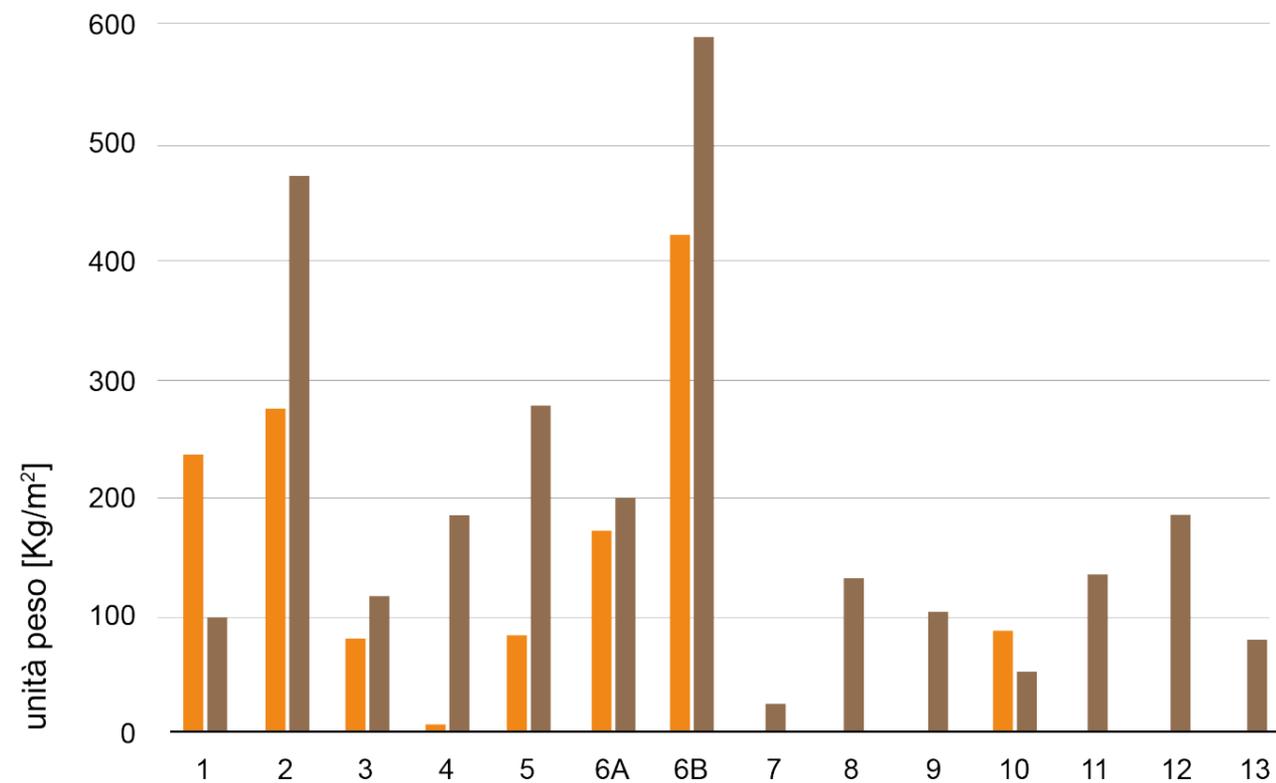


Tabella n.11: Rapporto PEI/m² secondo *ICE*

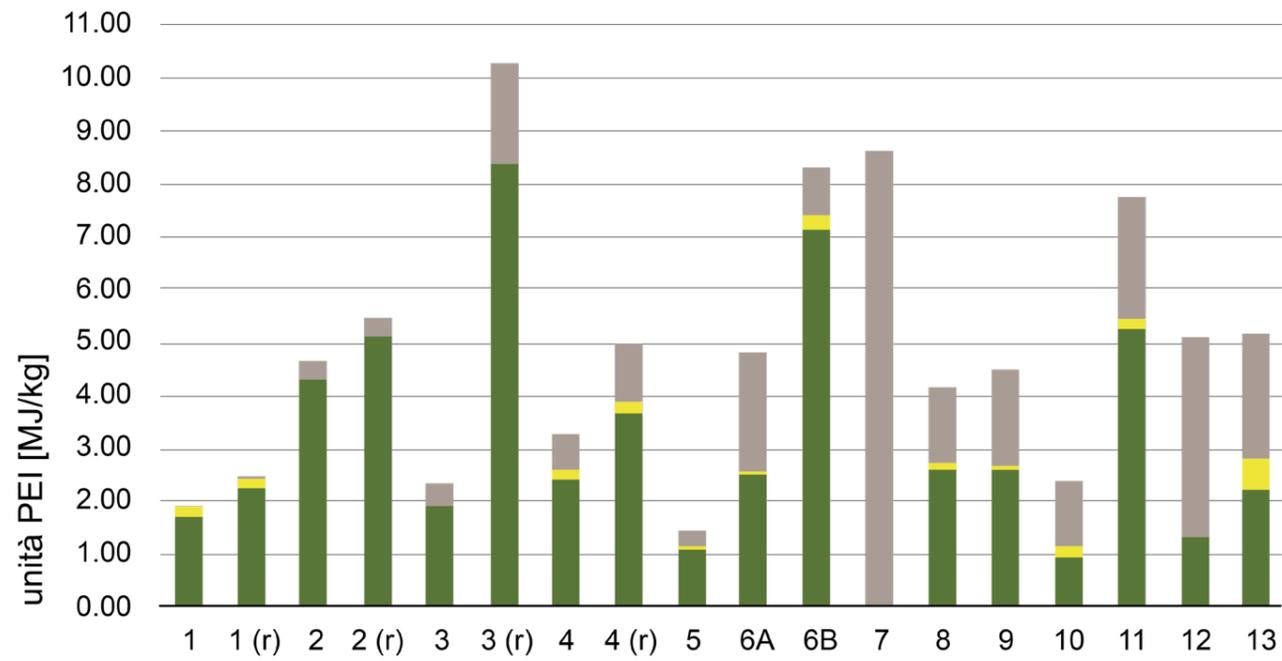


Tabella n.12: Rapporto PEI/kg secondo Okobaudat

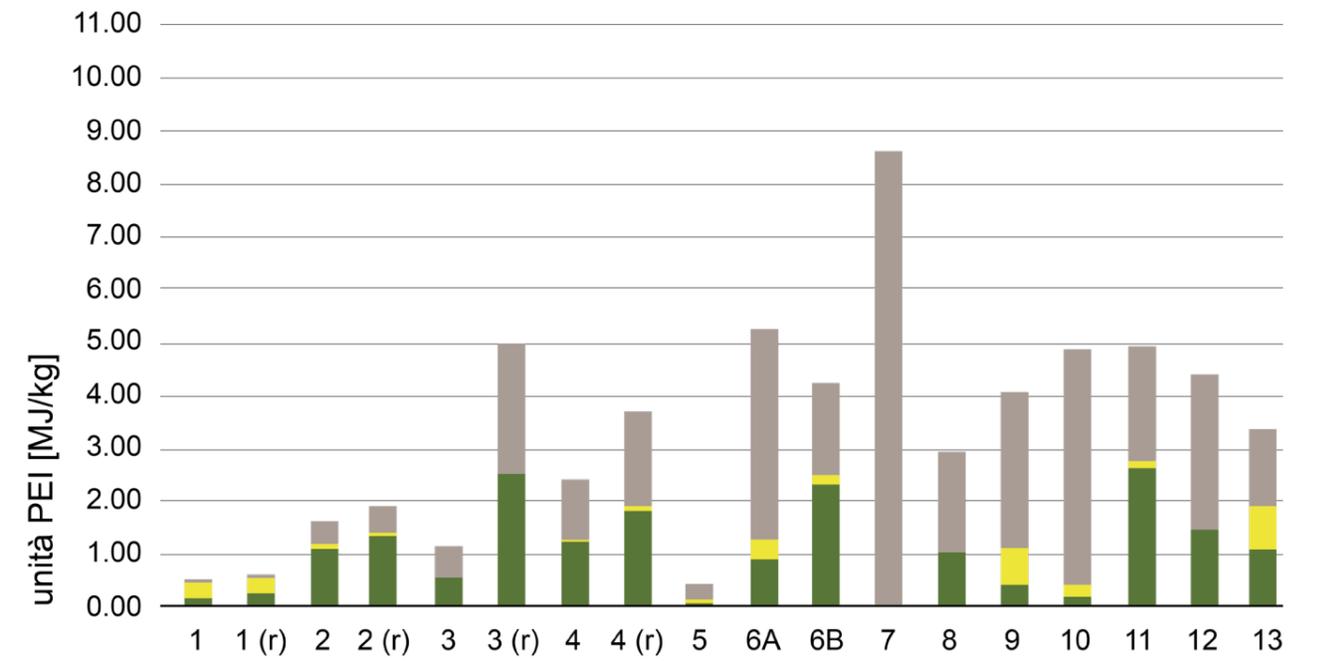


Tabella n.13: Rapporto PEI/kg secondo ICE

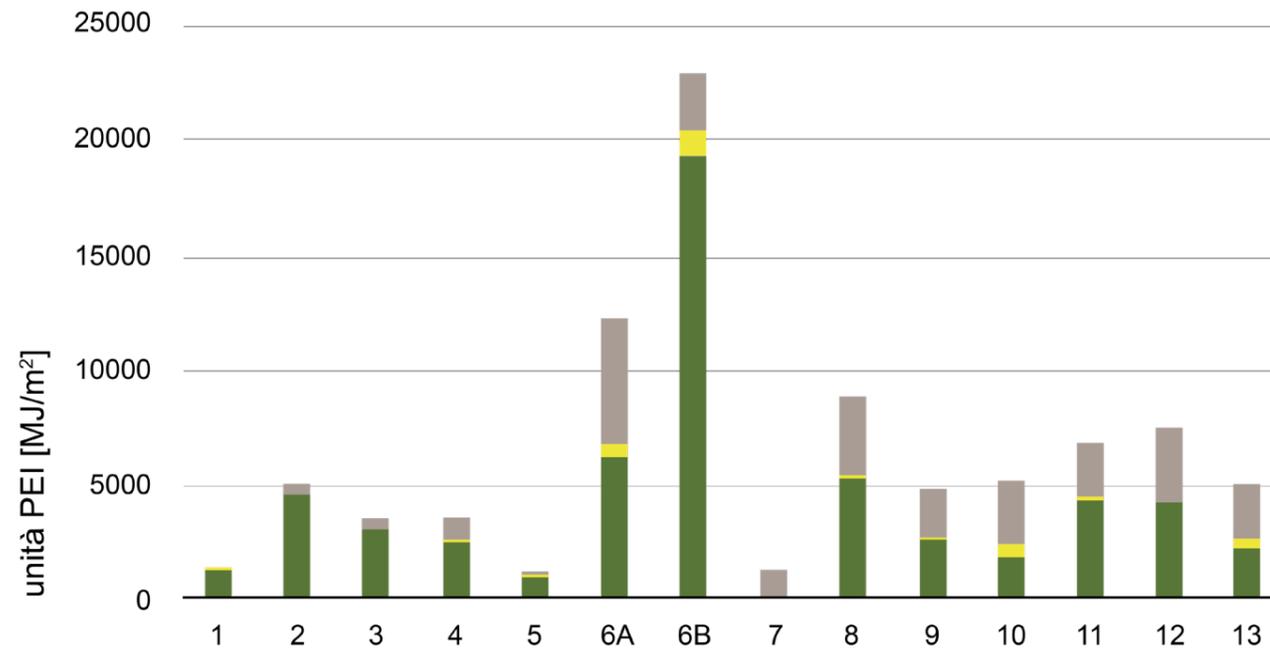


Tabella n.14: Rapporto PEI/m² secondo Okobaudat

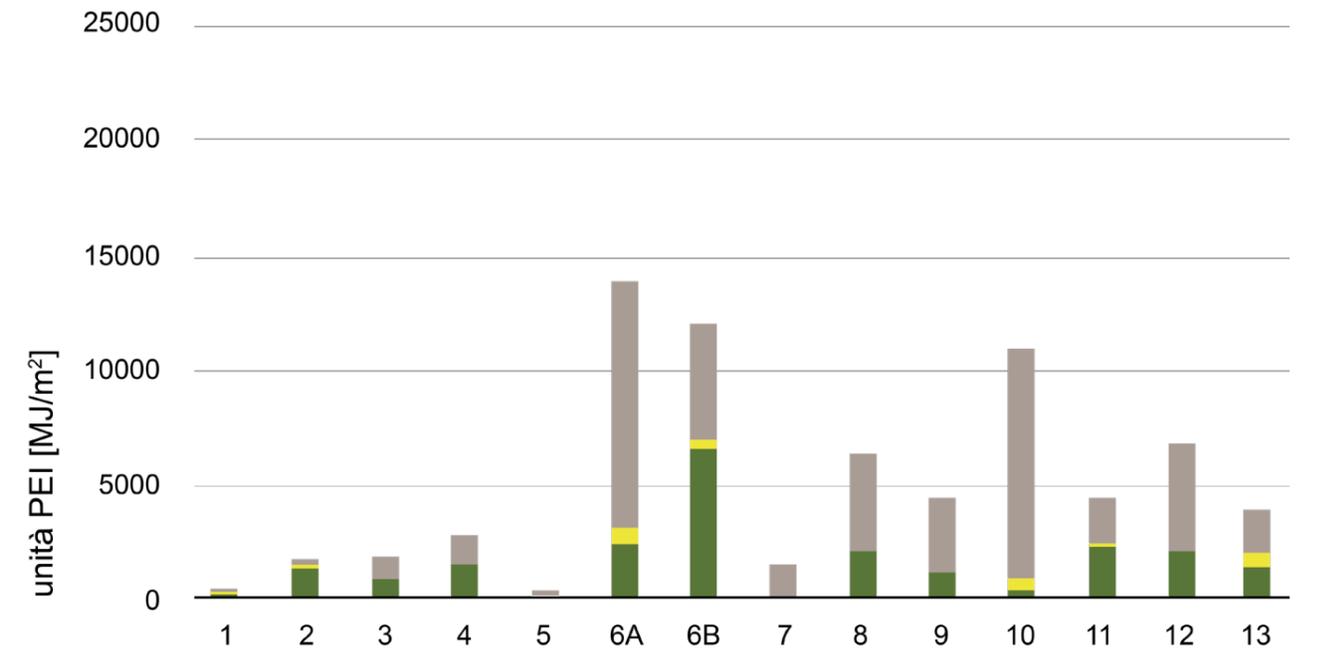


Tabella n.15: Rapporto PEI/m² secondo ICE

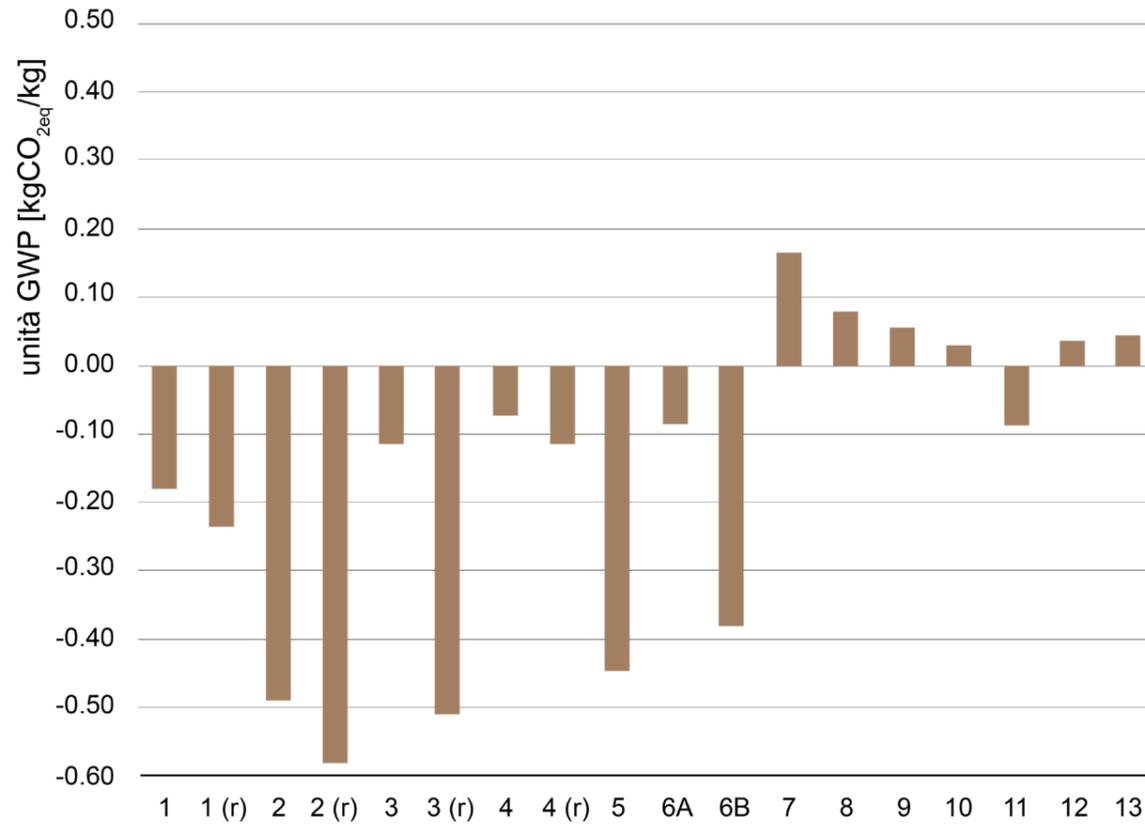


Tabella n.16: rapporto GWP/kg secondo Okobaudat

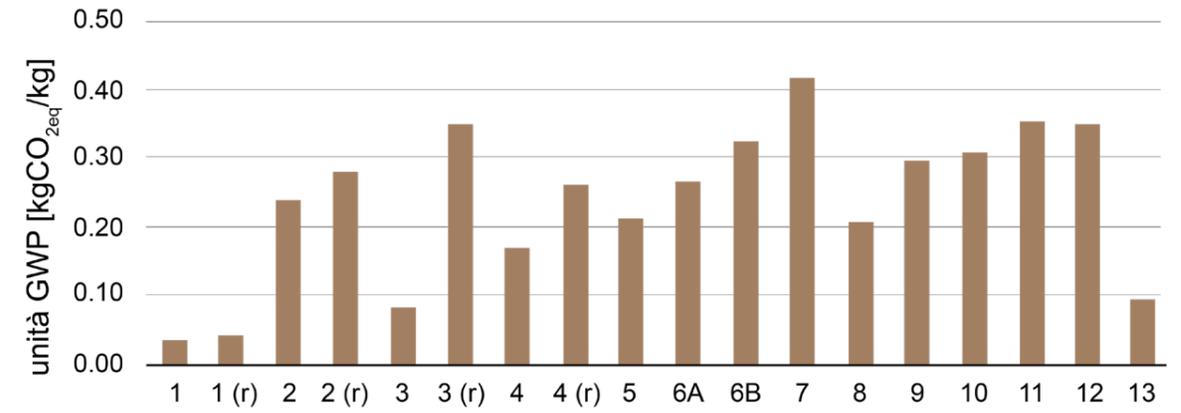


Tabella n.17: rapporto GWP/kg secondo ICE

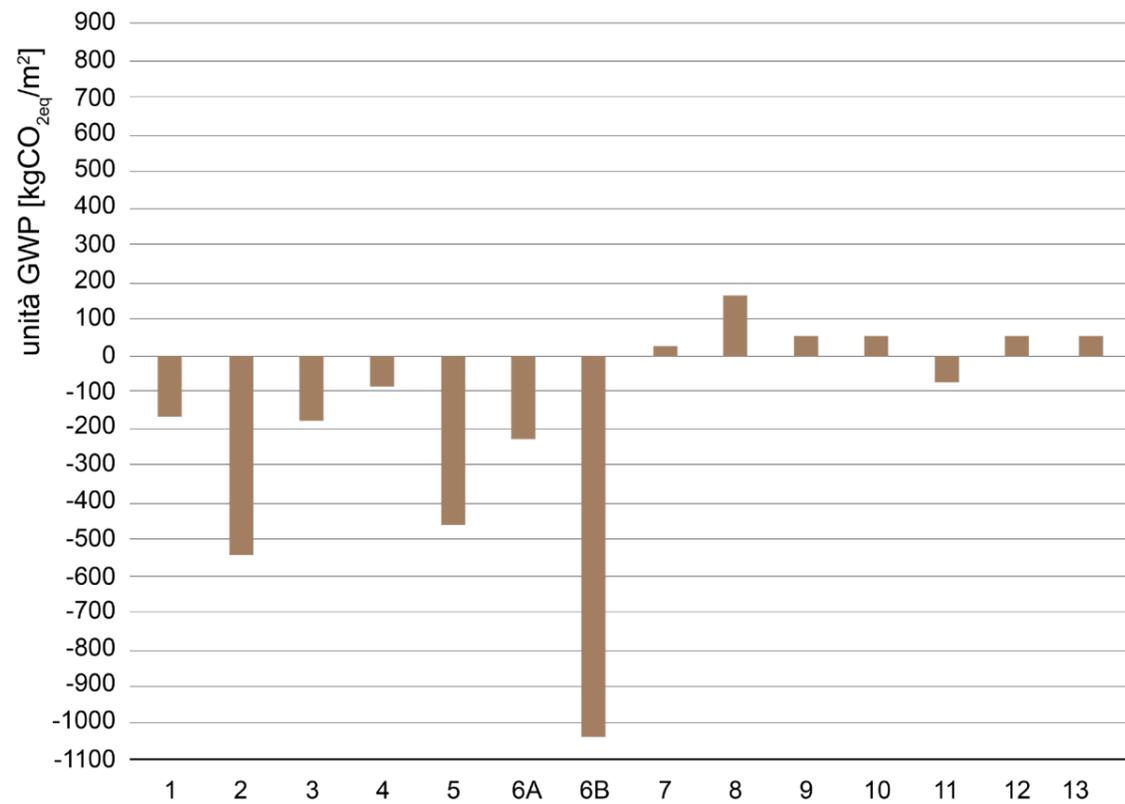


Tabella n.18: Rapporto GWP/m² secondo Okobaudat

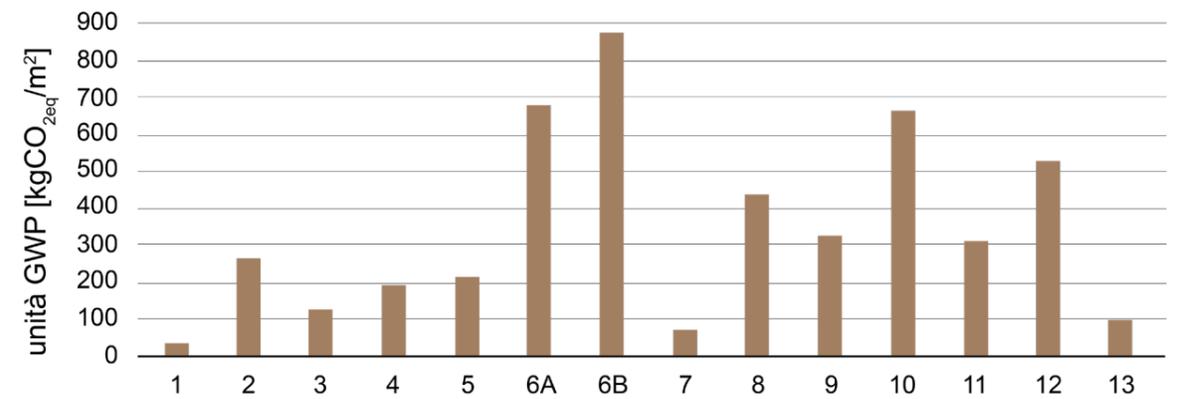


Tabella n.19: Rapporto GWP/m² secondo ICE

Note

[1] <https://www.mygreenbuildings.org/2010/12/20/lca-analisi-ciclo-di-vita-prodotti-processi.html> [28/08/2020]

[2] Rossetto F. *La Gastehaus di Wangelinert Garten, analisi e valutazione della sostenibilità di un edificio ad alte prestazioni ambientali*, tesi magistrale, Politecnico di Torino, 2019.

[3] <https://circularecology.com/embodied-carbon-footprint-database.html> [02/09/2020]

06

CONCLUSIONI

Conclusioni

L'ultima parte di questa tesi è stata dedicata allo studio dell'impatto ambientale dell'Hemp Cottage, messo poi a confronto con altri casi studio.

Un aspetto fondamentale di queste analisi è la precisione nella quantificazione dei materiali impiegati. A tal fine, risulterebbe molto utile avere a disposizione un computo metrico aggiornato in corso d'opera.

Nel mio caso le informazioni necessarie sono state ricavate tramite repertorio fotografico, sia delle fasi di cantiere che dello stato di fatto, brevi video relativi alla costruzione dell'edificio e disegni tecnici di dettaglio.

Avendo a disposizione le corrette quantità di materiali utilizzate diventa più semplice associare i rispettivi valori di *embodied energy* e di *embodied carbon*.

Dai grafici si è potuto notare come per gli stessi edifici, si ottengano valori anche molto diversi se calcolati con le due differenti banche dati. Questo deve essere considerato come una limitazione alla veridicità dei risultati ottenuti.

Idealmente, sarebbe utile poter far riferimento a valori standard a livello europeo, con fattori di conversione specifici per ogni Paese.

L'Hemp Cottage è stato costruito con l'obiettivo di creare un ambiente sano e confortevole sfruttando il più possibile le caratteristiche dei materiali naturali. Inoltre, è stata l'occasione per Woolley e Bevan di mettere in pratica le loro conoscenze teoriche riguardo l'architettura sostenibile.

I valori ottenuti dallo studio dell'impatto ambientale, confrontati con quelli degli altri casi studio, mostrano come l'Hemp Cottage

abbia valori di PEI e GWP in linea con quelli degli altri edifici analizzati. I valori di PEI ottenuti con *ICE* e *Ökobaudat* sono rispettivamente 309 GJ e 482 GJ, ovvero 3,51 GJ/m² e 5,47 GJ/m², inferiori a quelli medi (4,95 GJ/m² e 6,54 GJ/m²).

Con entrambi i database sono stati ottenuti dei valori di GWP positivi, nonostante la componente di materiale vegetale presente nell'edificio (legno e canapa). Tuttavia, i valori al metro quadrato e quelli al kg sono bassi e nuovamente in linea con quelli degli altri edifici.

La scelta di utilizzare la calce-canapa per la realizzazione delle pareti perimetrali, oltre a garantire una ridotta complessità della stratigrafia, ha contribuito a raggiungere alte prestazioni termiche e un'ottima qualità dell'aria interna all'edificio.

Uno degli scopi di Woolley e Bevan è far conoscere edifici ambientalmente sostenibili, incentrati sull'utilizzo di materiali naturali. Il loro lavoro, fatto di ricerche, pubblicazioni, libri ed esempi pratici ha contribuito in maniera fondamentale a cambiare la mia visione riguardo i materiali naturali, suscitando in me un particolare interesse proprio per la calce-canapa.

Questa tesi ha così, nel suo piccolo, l'obiettivo di dar seguito al lavoro intrapreso dai due architetti e di contribuire a informare sui vantaggi legati ai materiali naturali.

BIBLIOGRAFIA

1. Tom Woolley, *Natural Building. A Guide to Materials and Techniques*, Ramsbury: The Crowood Press, 2006.
2. Tom Woolley, Sam Kimmins, Rob Harrison, Paul Harrison, *Green Building Handbook: Volume 1: A Guide to Building Products and their Impact on the Environment*, ECRA, Manchester, 1997, pp. 28-29-30.
3. Tom Woolley, *Building materials, health and indoor air quality: no breathing space?*, Abingdon: Routledge, 2017.
4. Tom Woolley, Rachel Bevan, *Hemp and Lime Construction. A Guide to Building With Hemp Lime Composites*, BRE/IHS Press, 2008.
5. Tom Woolley, *Low Impact Building: Housing Using Renewable Materials*, Blackwell Pub, 2013.
6. Andrea Bocco Guarneri, *Vegetarian Architecture. Case Studies on Building and Nature*, Jovis, 2020.
7. Adolfo F.L. Baratta, "Il laterizio celato. Soluzioni tecnologiche nel Bosco Verticale", *Costruire in laterizio*, n. 163, giugno 2015.
8. S. Langer, G. Beko, E. Bloom, A. Widheden, L. Ekberg, *Indoor air quality in passive and conventional new houses in Sweden*, Building and Environment, 2015.
9. P. Sassi, *A natural ventilation alternative to the Passivhaus Standard for a Mild Maritime Climate*, Buildings.
10. C. Bristow, *Identifying barriers to the use of natural building materials in mainstream construction in Ireland*, University of Bath, MSC Architectural Engineering, 2015.
11. Rossetto F. *La Gastehaus di Wangelinert Garten, analisi e valutazione della sostenibilità di un edificio ad alte prestazioni ambientali*, tesi magistrale, Politecnico di Torino, 2019

SITOGRAFIA

1. <http://www.bevanarchitects.com/projects/awardwinningandpublished/narrows/> [03/08/20]
2. <http://www.bevanarchitects.com/projects/awardwinningandpublished/slyc/> [03/08/20]
3. <http://www.bevanarchitects.com/projects/awardwinningandpublished/oldmill/> [03/08/20]
4. <https://www.youtube.com/user/sustainandbuild/about> [31/08/2020]
5. <https://www.communities-ni.gov.uk/articles/architecture-and-built-environment> [31/08/2020]
https://it.wikipedia.org/wiki/Irlanda_del_Nord [16/05/2020]
6. <https://enrichedearth.org/professor-tom-woolley-architectural-consultant-for-cauldron-community/> [20/07/20]
7. <https://www.finance-ni.gov.uk/articles/northern-ireland-building-regulations-advisory-committee> [22/07/20]
8. <https://www.communities-ni.gov.uk/articles/architecture-and-built-environment> [22/07/20]
9. https://en.wikipedia.org/wiki/Association_of_Scientific,_Technical_and_Managerial_Staffs [31/08/2020]
10. <http://www.rediscoverycentre.ie/about-us/> [31/07/20]
11. <https://www.cedarrips.co.uk/integration> [24/06/2020]
12. <https://www.hertfordshire.gov.uk/microsites/building-futures/a-sustainable-design-toolkit/technical-modules/air/case-studies/use-of-natural-materials-cedar-integrated-primary-school-crossgar-county-down.aspx> [04/08/20]
13. https://it.wikipedia.org/wiki/Distretti_dell'Irlanda_del_Nord [16/05/2020]
14. <https://it.wikipedia.org/wiki/Ulster> [16/05/2020]
15. https://www.opiniojuris.it/the-troubles/#_ftn3 [16/05/2020]
16. https://it.wikipedia.org/wiki/Conflitto_nordirlandese [16/05/2020]
17. <https://www.ed.ac.uk/studying/undergraduate/student-life/academic/degree-structure/degree-names> [12/05/2020]
18. <https://www.rsua.org.uk/> [12/05/2020]
19. <https://www.strath.ac.uk/> [13/05/2020]
20. <http://www.bevanarchitects.com/> [12/04/2020]
21. <https://www.architecturewomen.org.nz/archives/rachel-bevan-auckland-wellington-nelson> [05/05/2020]
22. <https://urbantoronto.ca/news/2014/10/ryerson-architecture-public-lecture-tom-woolley-rachel-bevan-architects> [10/05/2020]
23. <https://www.houseplanninghelp.com/hph092-is-hempcrete-a-good-material-for-ecological-buildings-with-professor-tom-woolley-2/> [03/06/2020]
24. <https://it.wikipedia.org/wiki/Ambientalismo> [28/04/2020]
25. <http://www.ilnuovocantiere.it/soluzioni-tecnologiche-nel-bosco-verticale/> [15/05/2020]
26. https://it.wikipedia.org/wiki/Bosco_Verticale#Tamponamento [22/08/2020]
27. <https://www.stefanoberarchitetti.net/project/bosco-verticale/> [21/08/2020]
28. https://www.researchgate.net/publication/272424454_Indoor_air_quality_in_passive_and_conventional_new_houses_in_Sweden [15/05/2020]
29. <https://www.passivhaustrust.org.uk> [28/06/2020]
30. <https://passivehouse.com/> [28/06/2020]
31. https://passiv.de/en/01_passivehouseinstitute/01_passivehouseinstitute.htm [28/06/2020]
32. https://www.researchgate.net/publication/285674118_The_Use_Potential_

-
- of Traditional Building Materials for the Realization of Structures by Modern Methods of Construction [28/06/2020]
33. <https://naturfibre.it/la-storia-della-canapa/> [08/05/2020]
34. <https://passivehouseplus.ie/articles/design-approaches/hempcrete-retreat> [19/06/2020]
35. <https://canapaindustriale.it/2015/05/22/biocomposto-in-calce-e-canapa-caratteristiche-tecniche-di-sostenibilita/> [20/05/2020]
36. <https://www.blackmountaininsulation.com/> [21/05/2020]
37. https://www.blackmountaininsulation.com/NatuWool_Brochure.pdf [21/05/2020]
38. <https://www.rockwool.co.uk/product-overview/pitched-roof-solutions/rockfall-en-gb/?selectedCat=downloads#Specifications&Sizes> [22/05/2020]
39. https://www.edilportale.com/news/2019/12/focus/tetto-ventilato-ecco-come-funziona_49686_67.html [23/05/2020]
40. https://en.wikipedia.org/wiki/Shear_wall [25/05/2020]
41. <https://www.youtube.com/watch?v=FcctSvVFheA> [10/04/2020]
42. <https://www.homify.co.uk/photo/937744/hemp-cottage> [16/04/2020]
43. <http://www.groenevakantiegids.nl/accommodatie?ac=UK-BT309HR-115> [18/05/2020]
44. <http://www.americanlimetechnology.com/tradical-hemcrete/> [23/08/2020]
45. <https://passivehouseplus.ie/articles/design-approaches/hempcrete-retreat> [01/09/2020]
46. https://it.wikipedia.org/wiki/Specie_a_rischio_minimo [26/05/2020]
47. <http://www.hempcore.co.uk> [28/05/2020]
48. <https://www.greenspec.co.uk/green-products/in-situ-composites/details/tradical-hemcrete/> [20/08/2020]
49. <https://carbon.coop/event/masterclass-hemp-lime-for-building-professionals/> [05/02/2020]
50. <https://carbon.coop/> [05/02/2020]
51. <https://www.eventbrite.co.uk/e/masterclass-hemplime-for-building-professionals-tickets-77304364435#> [05/02/2020]
52. https://www.planningportal.co.uk/info/200137/how_to_get_approval/77/where_to_get_approval/2 [04/06/2020]
53. <http://www.buildingcontrol-ni.com/> [11/06/2020]
54. <http://www.buildingcontrol-ni.com/what-we-do> [11/06/2020]
55. <https://www.mygreenbuildings.org/2010/12/20/lca-analisi-ciclo-di-vita-prodotti-processi.html> [28/08/2020]
56. <https://www.berardengolegnami.it/essenze.php?essenza=64> [11/06/2020]
57. <https://www.tuttolegno.eu/specie-legnose/item/pitch-pine-2.html> [11/06/2020]
58. https://www.casaenergetica.it/info/tecnologia/materiali/lana_di_legno_mineralizzata.html [11/06/2020]
59. http://www.iuav.it/Ateneo1/docenti/architetto/docenti-st/Carbonari-/materiali-1/Audit-e-Pr/5-LCA/LCA_AG.pdf [18/06/2020]

Ringraziamenti

Portata a termine questa tesi sento doveroso ringraziare il Professor Andrea Bocco per la disponibilità e la gentilezza mostrata nei miei confronti fin dall'inizio.

Sarò sempre riconoscente a Tom Woolley e Rachel Bevan per avermi seguito e aiutato con grande passione e affetto.

Ringrazio la mia famiglia per avermi dato la possibilità di intraprendere questo percorso di studi e permesso così di perseguire i miei obiettivi. Grazie per l'affetto incondizionato.

Grazie agli amici di una vita, consapevole che quello passato insieme è solo una piccola parte rispetto a quello che ancora deve venire.

Grazie ai compagni, ma soprattutto amici, trovati durante questi anni di università, complici nei momenti più belli e soprattutto in quelli più difficili.