



**Politecnico
di Torino**

Politecnico di Torino

Corso di Laurea Magistrale in Architettura
per il Restauro e la Valorizzazione del Patrimonio
A.a. 2023/2024
Sessione di Laurea Settembre 2023

Il biocomposito calce-canapa: caratteristiche e prestazioni

Indagini e ricerca per la determinazione di linee guida
per l'utilizzo

Relatrice:
Prof. Paola Palmero
Correlatrice:
Prof. Daniela Bosia

Candidata:
Benedetta Caretti

INDICE

Abstract

Introduzione

1. LA MISCELA DI CALCE-CANAPA: UN COMPOSITO BIOCOMPATIBILE

- 1.1 Il calce-canapa
- 1.2 La calce
 - 1.2.1 Origini
 - 1.2.2 La composizione
 - 1.2.3 Differenza calce idrata in polvere e grassello
 - 1.2.4 Differenza calce aerea e calce idraulica
 - 1.2.5 Il ciclo della calce
- 1.3 La canapa
 - 1.3.1 Origini
 - 1.3.2 Composizione botanica
 - 1.3.3 Coltivazione e ciclo di vita
 - 1.3.4 Normativa
- 1.4 La produzione

2. CARATTERISTICHE E PROPRIETÀ DEL BIOCOMPOSITO

- 2.1 Le proprietà termiche
- 2.2 La resistenza all'umidità
- 2.3 La resistenza meccanica
- 2.4 Le proprietà acustiche
- 2.5 La resistenza al fuoco
- 2.6 Durabilità delle fibre in mezzo alcalino: problematiche e possibili soluzioni
- 2.7 Ecocompatibilità
 - 2.7.1 Domanda energetica cumulativa
 - 2.7.2 Sequestro di CO₂

3. TECNOLOGIA E MODALITÀ DI APPLICAZIONE DEL BIOCOMPOSITO

- 3.1 Riempitivo isolante per murature
- 3.2 Isolante per tetti
- 3.3 Cappotto isolante
- 3.4 Intonaco isolante per muri (interni ed esterni)
- 3.5 Solette isolanti, sottofondi e massetti coibenti e alleggeriti
per piani terra o intermedi
- 3.6 Tecnologia sistema acciaio, calce e canapa
- 3.7 Muratura in calce-canapa
- 3.8 Interventi sull'esistente

4. INTERVISTE E PROPOSTA DI LINEE GUIDA PER L'UTILIZZO DEL BIOCOMPOSITO

- 4.1 Domande e risposte ad esecutori su casi esistenti
- 4.2 Riflessioni ed analisi critiche
- 4.3 Linee guida per la preparazione e l'applicazione del
biocomposito

Conclusioni

Bibliografia

Allegati

Abstract

Il biocomposito calce-canapa è un materiale composto da calce aerea e/o idraulica e canapulo. Esso è caratterizzato da interessanti proprietà termiche ed igroscopiche e viene inoltre considerato un prodotto ecocompatibile; tuttavia, la mancanza di normative, di informazioni diffuse, di manodopera specializzata, di costi accessibili e di disponibilità del materiale rappresentano ostacoli per l'utilizzo comune. Questa tesi si propone di studiare le proprietà e le caratteristiche del calce-canapa, nonché di fornire alcune linee guida per la preparazione della miscela e per l'applicazione del biocomposito, al fine di favorirne la conoscenza e l'utilizzo. Infine, vengono proposte alcune soluzioni per affrontare i fattori attualmente considerati ostacoli dagli operatori per l'utilizzo di questo materiale.

The lime-hemp biocomposite is a material composed of aerial and/or hydraulic lime and hemp shives. It is characterized by intriguing thermal and hygroscopic properties and is also considered an eco-friendly product. However, the lack of regulations, widespread information, specialized workforce, affordable costs, and material availability pose obstacles to its common use. This thesis aims to study the properties and characteristics of lime-hemp, as well as provide guidelines for the mixture preparation and application of the biocomposite to promote its knowledge and utilization. Finally, some solutions are proposed to address the factors currently considered hindrances by practitioners for the use of this material.

Introduzione

Il settore edile incide per il 40% nelle emissioni di CO₂ terrestri, parte di queste sono determinate dai materiali impiegati e dalle basse prestazioni energetiche degli edifici esistenti. Attualmente il tema della riqualificazione degli edifici esistenti è sempre più sentito ed un'attenzione particolare viene posta anche nei confronti dei materiali a basso impatto ambientale. Il calce-canapa si configura come un prodotto compatibile con il costruito storico, dalle proprietà isolanti ed ecocompatibile; tuttavia, nel nostro Paese risulta essere ancora poco conosciuto ed utilizzato. La seguente Tesi ha l'obiettivo di esplorare il biocomposito dal punto di vista scientifico ed applicativo, fornendo una panoramica delle caratteristiche del materiale, delle composizioni delle miscele e delle applicazioni possibili. L'intento è quello di illustrare le potenzialità del calce-canapa fornendo, attraverso delle interviste, alcune linee guida per la miscelazione e l'applicazione al fine di promuoverne la conoscenza e l'utilizzo. L'idea nasce dalla volontà di riscoprire in modo innovativo il grassello di calce per gli interventi sull'esistente. La ricerca svolta ha condotto al biocomposito calce-canapa, un materiale innovativo con grandi potenzialità specialmente per gli interventi sull'esistente. La ricerca si basa su una combinazione di fonti letterarie scientifiche e testuali per quanto riguarda i primi tre capitoli. Nel quarto capitolo, invece, sono state condotte interviste dirette a sette professionisti del settore, partecipando anche ad alcuni cantieri, al fine di proporre alcune linee guida per l'utilizzo del biocomposito, analizzarne le criticità e le possibili soluzioni e promuoverne l'utilizzo. Più specificatamente, il primo capitolo espone le principali caratteristiche della calce e della canapa prima separatamente e successivamente come materiale composito. Il secondo capitolo si concentra sulle prestazioni del

biocomposito, indagando le singole proprietà (termiche, meccaniche, igriche, ecc.) e dimostrandone i limiti e le potenzialità. Il terzo capitolo ha come obiettivo l'esposizione delle potenziali applicazioni del biocomposito sulle costruzioni esistenti e su quelle nuove. Poiché il calce-canapa viene ancora considerato un materiale di nicchia nel settore delle costruzioni, nel quarto capitolo sono state indagate, per mezzo delle interviste, le modalità di miscelazione ed applicazione sul costruito e le ragioni per il quale questo materiale è ancora poco conosciuto ed utilizzato, terminando con l'individuazione di linee guida pratiche per la sua applicazione.

1. LA MISCELA CALCE-CANAPA: UN COMPOSITO BIOCOMPATIBILE

1.1 Il calce-canapa

La miscela di calce e canapa (Figura 1.1) si definisce come un materiale composito composto dal canapulo (ovvero la parte legnosa dello stelo della canapa) ed un legante a base di calce. Dopo la presa e l'indurimento del legante, questo materiale acquisisce interessanti proprietà termiche, acustiche e di permeabilità al vapore che lo rendono appropriato per diverse applicazioni in architettura. La presenza di una componente naturale (il canapulo), il basso impatto ambientale del processo produttivo e la capacità di sequestro del carbonio lo rendono ulteriormente attrattivo in ambito di bioedilizia¹, facendo sì che venga comunemente definito biocomposito.



Figura 1.1: miscela di calce e canapa²

¹ Patrick Daly (BESRaC), Paolo Ronchetti (BESRaC), Tom Woolley (Consultant), *Hemp Lime Bio-composite as a Building Material in Irish Construction*, Environmental Protection Agency, PO Box 3000, Johnstown Castle, Co. Wexford, Ireland, 2012

² Bevan R., Woolley T., *Hemp lime construction – A guide to building with hemp lime composites*, IHS BRE press, 2008

“Dovendo eseguire l’applicazione dell’intonaco in periodo torrido o in luogo molto caldo, bisognerà battere e tagliare minutissimi pezzi dei cordami stravecchi [funi in canapa], da mescolarsi poi al materiale che si vuole applicare. Dei pari l’intonacatura riuscirà assai ben rifinita se, levigandola, verrà irrorata con moderazione mediante sapone bianco sciolto in acqua tiepida; una imbibizione spinta oltre certi limiti produce però una tinta slavata” così scrisse Leon Battista Alberti nel 1450 circa nel *De re aedificatoria*: un trattato di dieci libri sui metodi costruttivi dove espone, tra i tanti, come realizzare una muratura in calce-canapa.³ Non si conosce esattamente quando si incominciò ad utilizzare il calce-canapa ma il ritrovamento di un ponte nel sud della Francia, in cui venne impiegato il conglomerato calce-canapa, fa presagire che questo materiale fosse già in uso tra il 500 ed il 750 d.C. (O’Flynn, 2001). Uno dei ritrovamenti più antichi appartiene alle Grotte di Ellora, raffigurate nella Figura 1.2, complesso monumentale di grotte e templi scavati nella roccia nel sito di Maharastra in India. In una delle grotte è stata rinvenuta la presenza di canapa miscelata con argilla e calce ed impiegata come intonaco. Alcuni studi sostengono che proprio la presenza di questa miscela, con le relative proprietà ignifughe e di resistenza al deterioramento biologico, ha permesso la conservazione delle pitture murarie a differenza delle altre grotte che ne erano esenti.



Figura 1.2: Grotte di Ellora⁴

³ **Gilberto Barcella**, *Canapa e calce*, Dario Flaccovio Editore s.r.l., maggio 2021

⁴ Ellora Caves, *Cannabis sativa in ancient clay plaster of Ellora Caves India-Singh-Sardesai*

L'uso diffuso del calce-canapa nell'edilizia comincia alla fine degli anni '90. In Francia, in particolare a Troyes si riscoprì l'utilizzo del biocomposito calce-canapa per la conservazione di edifici medievali intelaiati in legno, chiamati *Colombage*. A Charles Rasetti, a cui si deve in particolare l'utilizzo del calce-canapa nell'edilizia, sperimentò, negli anni 80, l'unione del canapulo a diversi leganti mettendo a punto un sistema costruttivo che si sviluppò prima nella regione bretone e successivamente in tutta l'Europa ed in Canada. L'azienda di France Périer, "*Isochanvre*" iniziò a produrre un legante di calce-canapa in sostituzione al cemento tradizionale, mentre le associazioni "*Costruire en Chanvre*" con Bernard Boyeux e "*l'Association d'Adam*" con Yves Khun contribuirono a mettere in relazione i professionisti e gli artigiani interessati al biocomposito. Secondo la *Grand View Research*, una società che si occupa di ricerche nel mercato globale, è previsto un rapido incremento nel mercato della canapa industriale. Nel 2021 si stimava una dimensione del mercato globale della canapa attorno ai 4,13 miliardi di dollari. La previsione dei ricavi per il 2030 è stata stimata attorno ai 16,75 miliardi di dollari, e ciò fa presagire un aumento della produzione e del suo utilizzo.⁵ Sempre in Francia, la ricerca scientifica vede un continuo progresso, in particolare grazie alle attività di ricerca condotte in alcuni importanti centri, quali il "*Centre Scientifique et Technique du Batiment*" (Centro di Scienza e Tecnica per la costruzione) presso "*l'Ecole Nationale des Travaux Public de l'Etat*" (Scuola Nazionale dei Lavori Pubblici di Stato), ed il gruppo *Lhoist* (uno dei più importanti produttori di calce a livello globale). Il secondo Paese che ha utilizzato in ordine cronologico il biocomposito è il Regno Unito. Uno

⁵ **Grand View Research**, Dimensione del mercato della canapa industriale, relazione sull'analisi delle quote e delle tendenze per prodotto (semi, fibre, trucioli), per applicazione (cura degli animali, tessuti, alimenti e bevande, materiali da costruzione, cura della persona), per regione e previsioni di segmento, 2023-2030, 2023

degli esponenti che ha sperimentato l'utilizzo del biocomposito per un edificio popolare nel sud dell'Inghilterra è stato Ralph Carpenter per conto della società *Suffolk Housing*. In questo progetto, il *Building Research Establishment* si è occupato di investigare e valutare le proprietà termiche, strutturali, acustiche, di permeabilità, di durabilità del biocomposito nonché la riduzione dei rifiuti, dell'impatto ambientale e dei costi ad esso associati. Sempre in Inghilterra l'azienda *Lime Technology* ha iniziato a produrre e distribuire il calce-canapa con il marchio registrato *Tradical® Hemcrete®* in collaborazione con *Lhoist UK* e *Hemcore*. Negli ultimi anni molti edifici sono stati realizzati in calce-canapa e molte Università conducono attualmente ricerche in quest'ambito; tuttavia, essendo un materiale innovativo, non ci sono ancora standard di riferimento e linee guida ufficiali. Pertanto, nel 2006 aziende e professionisti hanno formato la *Hemp Lime Construction Products Association* con la finalità di promuovere il calce-canapa nell'edilizia ed i suoi benefici rispetto ai materiali da costruzione comuni. Il confronto con le realtà del Nord Europa ha fatto sì che anche in Italia si sia acceso l'interesse verso questo materiale innovativo, come dimostrato da recenti seminari, incontri e convegni. Un esempio è stato il CANAPALEA (2015-2018), progetto nel quale sono stati organizzati "cantieri-scuole", con prove, viste, sopralluoghi, confronti e seminari. Vi sono diversi progetti in tutta Europa, in Italia una figura di spicco è Oliver Zaccanti, architetto dell'ANAB (Associazione Nazionale Architettura Bioecologica) che oltre ad aver organizzato convegni e seminari, realizza edifici in calce-canapa in particolare in provincia di Modena.⁶ Nel 2011 l'impresa *Equilibrium* ha iniziato ad interessarsi a questo materiale ed ha realizzato il primo cantiere che vede protagonista Paolo Ronchetti; inoltre, a Bisceglie è stato realizzato, dallo studio di

⁶ **Paolo Ronchetti**, *The barriers to the mainstreaming of lime-hemp: a systemic approach*, ach, MSc Dissertation, Dublin Institute of Technology, School of Spatial Planning, Dublin, Ireland 2007

architettura Pedone Studio tramite la Pedone Working S.r.l. (in collaborazione con diverse aziende, tra le quali Equilibrium), “Case di Luce”: il più grande edificio in calce-canapa costruito in Europa, emblema dell’efficienza energetica e comfort abitativo italiano.⁷

I materiali che compongono il calce-canapa

Il calce-canapa è un materiale composito prodotto dalla miscelazione della calce aerea (Figura 1.3) o idraulica (Figura 1.4), che funge da legante, dal canapulo (Figura 1.5), che contribuisce alla resistenza meccanica e dall’acqua che rende la miscela fluida e lavorabile.



Figura 1.3: grassetto di calce, prodotta dall’autore



Figura 1.4: calce idraulica, prodotta dall’autore



Figura 1.5: canapulo, prodotta dall’autore

In passato il canapulo veniva considerato come la parte meno pregiata della canapa. Le maggiori attenzioni venivano poste nei confronti dei semi e delle fibre, considerando il “legno di canapa” uno scarto; tuttavia, il canapulo presenta una struttura alveolare dall’alta percentuale di cavità che conferisce alla massa legnosa leggerezza e bassa densità, in particolare, nel truciolo di canapa sono presenti alveoli di taglia micrometrica contenenti aria nei quali si innescano continuamente processi di micro-condensazione e micro-evaporazione in grado di

⁷ **Marco Adriano Perletti**, *Costruire sostenibile con la canapa*, Maggioli Editore, gennaio 2020

limitare le trasmissioni termiche e di regolare l'umidità. È pertanto considerato un materiale da costruzione ottimale, soprattutto tenendo conto del comfort abitativo che garantisce e il basso impatto ambientale del suo ciclo produttivo,⁸ come verrà spiegato nei capitoli successivi. La diversa tipologia di legante (calce aerea e calce idraulica), del tipo di canapa (provenienza, qualità, lunghezza, forma...) e delle proporzioni della miscela determinano diversi tipi di materiali adatti a diversi impieghi nell'edilizia (pareti, intonaci, isolanti, solai, pannelli e mattoni). Ad esempio: una miscela dal basso contenuto di legante è ritenuta più adatta a prodotti isolanti; al contrario, una miscela ricca di legante può essere utilizzata per il confezionamento di mattoni e blocchi per muri di tamponamento, o per isolamento di elementi soggetti a sollecitazioni meccaniche, quali i pavimenti. Inoltre, dopo aver miscelato acqua, calce e canapulo, essendo quest'ultimo ricco di silice, durante il processo di carbonatazione, il materiale indurisce e diventa ignifugo e resistente agli organismi esterni.⁹

⁸ **Paolo Ranalli**, *La canapa Miglioramento genetico, sostenibilità, utilizzi, normativa di riferimento*, Edagricole – Edizioni Agricole di New Business Media srl» via Eritrea 21 – 20157 Milano, 2020

⁹ **Marco Adriano Perletti**, *Costruire sostenibile con la canapa*, Maggioli Editore, gennaio 2020

1.2 La calce

1.2.1 Origini

L'uso dei leganti nelle costruzioni possiede una storia millenaria. Le prime testimonianze sull'utilizzo della calce aerea risalgono al 7000 a.C. in Israele dove venne utilizzata per la realizzazione di un composto di calce e pietre usato in una pavimentazione a Yftah, mentre un primo utilizzo di malta a base di calce si trova a Tebe, in Egitto, in un murale del 1950 a.C.. Anche i Greci, i popoli del Sud America, i popoli dell'India ed i popoli cinesi fecero largo uso di calce aerea, spesso additivata da fibre ed altre componenti vegetali. Il suo utilizzo trova però il massimo splendore con i Romani (Figura 1.6), che divennero abili conoscitori del materiale ed eseguirono diverse pratiche al fine di migliorare il prodotto. Una testimonianza di questo è la moltitudine di strutture pervenutaci che dimostrano longevità e maestrale ingegno. La prima documentazione che mostra l'impiego di un conglomerato a base di calce ed aggregati lapidei è del 300 a.C. con le opere di Appio Claudio Cieco: l'acquedotto di Appio e la Via Appia.



Figura 1.6: tecniche costruttive dei romani, Mercati di Traiano¹⁰

¹⁰ *la calce e la sua storia di Ninolonghitano, <http://www.ninolonghitano.it/la-calce-nel-restauro>*

Ai romani, in particolare a Marco Vitruvio Pollione, grazie allo scritto di dieci volumi del 13 a.C., il “*De Architettura*”, si deve inoltre la divulgazione delle pratiche tecnologiche della calce, testimoniate da opere ingegneristiche realizzate anche in zone remote come l’Inghilterra. Nel capitolo V egli discorre sulla calce dandone testimonianza di una valida conoscenza: “*Avendo spiegato i diversi generi dell’arena si dee porre in opera tutta la diligenza intorno alla calce, affinché sia cotta di pietra bianca o di selce; e quella che sarà di pietra più compatta e più dura sarà utile nella fabbricazione, quella di pietra porosa nell’intonaco. Quando la calce sarà estinta, allora si mescoli alla materia in guisa, che se l’arena sia fossile, si confondano tre parti di questa ed una di calce. Se sarà fluviale o marina, due di queste con una di calce; e così ci sarà giusta proporzione nel miscuglio. E se nella fluviale o marina si aggiungerà una terza parte di mattone pesto e vagliato, ciò formerà la composizione della materia ancora migliore per l’uso*”.¹¹ I Romani migliorarono notevolmente le tecnologie utilizzate per la produzione della calce aerea selezionando i calcari da utilizzare, cocendo e spegnendo accuratamente la calce, lasciandola invecchiare in fossa e miscelandola con sabbia rigorosamente “pulita”¹² (Figura 1.7).

¹¹ **Marco Pollione Vitruvio**, *De Architettura*

¹² Per “pulita” si intende una sabbia poco porosa e priva di frazioni limo-argillose, poiché queste avrebbero potuto compromettere la resistenza dell’intonaco per l’ostacolo all’aderenza pasta di calce/sabbia determinata dalla presenza di frazioni finissime

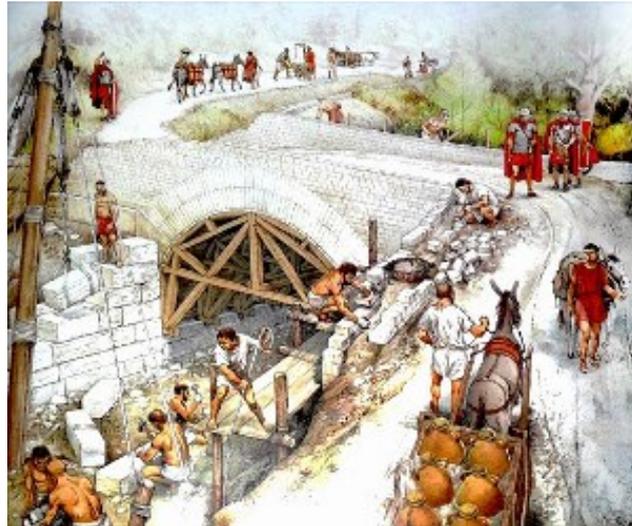


Figura 1.7: utilizzo della calce durante il Sacro Romano Impero¹³

I romani, pur non conoscendo ancora i leganti idraulici riuscirono ad ottenere delle malte idrauliche mediante l'aggiunta di pozzolana (chiamata così per il luogo di provenienza, Pozzuoli) al composto. La pozzolana, una sabbia vulcanica ad alto contenuto di silice amorfa, reagendo con la calce, dava origine ad impasti in grado di indurire a contatto con l'acqua, conferendo quindi proprietà idrauliche. La scoperta della pozzolana segnò una rivoluzione nella realizzazione di opere idrauliche, quali acquedotti, ponti, strutture portuali. Nel caso quest'ultima non fosse disponibile, si aggiungevano tegole, mattoni o terraglie cotte, frantumate o macinate (denominate cocchiopesto): questi prodotti argillosi, reagendo con la calce, dovevano essere in grado di promuovere reazioni pozzolaniche e quindi conferire proprietà idrauliche. Per quanto riguarda la tecnologia di produzione della calce, il *“De Architettura”* non ne parla ma a Roma la Corporazione dei *Calcis coctores* aveva codificato la forma e la funzione del *“fornax calcaria”* come la definisce Plinio nella sua opera *“Naturalis Historia”*.¹⁴ Per la

¹³ *la calce e la sua storia* di Ninolonghitano, <http://www.ninolonghitano.it/la-calce-nel-restauro>

¹⁴ **Andrea Rattazzi**, *conosci il grassello di calce? origine, produzione e impiego del grassello in architettura, nell'arte e nel restauro*, EdicomEdizioni, Monfalcone (Gorizia), 2007

costruzione del forno si cominciava con la realizzazione di un focolare interrato detto “*fornix*” dalla forma di un cono rovesciato sostenuto da una colonna centrale e sormontato dalla “*summa fornax*”, con diametro di circa due metri in basso ed uno in alto. Il camino era detto “*orbis summus*”, all’interno del forno si accedeva attraverso due pozzi (*fauces*) che conducevano a due aperture: una serviva per introdurre legna e l’altra per estrarre le ceneri. Era costruita in mattoni ad eccezione di alcune parti realizzate in argilla, la quale induriva durante la prima cottura (Figura 1.8).¹⁵

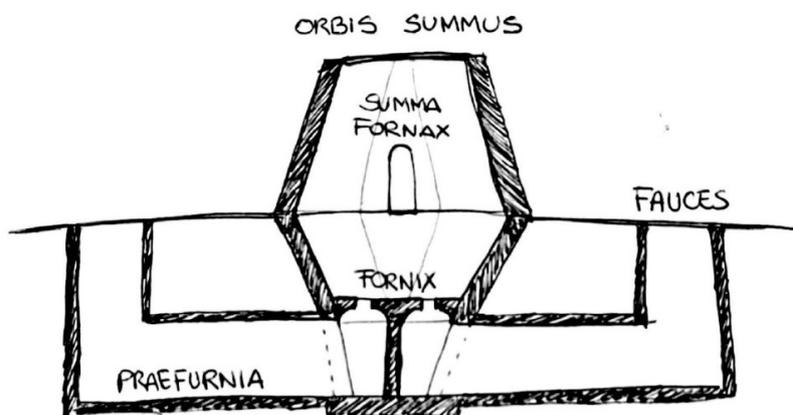


Figura 1.8: schema di un forno a calce di epoca romana, prodotta dall’autore

Dopo la caduta dell’Impero, nel Medioevo, si perdonò molte delle conoscenze acquisite e si tornò quasi ovunque alle fornaci di campagna di tipo verticale o obliquo. L’assenza di un rivestimento in mattoni produceva incotto e di conseguenza si assiste ad un graduale declino della qualità delle malte di calce. Solo dal XIV secolo, grazie all’utilizzo di fornaci (sempre intermittenti) in muratura e a legna, e dal XVIII secolo, con le fornaci a griglia a carbone, si poté ritornare ai successi qualitativi dell’epoca romana. Eugène Emmanuel Viollet-le-Duc, prese in considerazione alcuni edifici costruiti in Francia e analizzandoli sostenne che l’attenzione nel cuocere il calcare si era persa e veniva

¹⁵ Leger A., *Traité des travaux publics, les mines e la métallurgie aux temps des Roman*, 1857

normalmente utilizzata calce contenente grumi mal cotti e senza l'aggiunta di terracotta. Inoltre, le attenzioni poste nella scelta della sabbia e nel costipare le malte con poca acqua divennero assenti. Nel XIV secolo quindi si ottiene un primo miglioramento della qualità delle malte, probabilmente grazie anche al risveglio umanistico che portò alla traduzione dei testi di Vitruvio e Plinio. Un successivo miglioramento, che condusse ad una qualità delle malte più simile a quella romana, venne raggiunto solamente durante i grandi lavori idraulici eseguiti nella Reggia di Versailles nel XVIII secolo. Alcuni esponenti di questi lavori furono Lorient, De la Faye, Faujas de Saint-Fond e, soprattutto Rondelet.¹⁶ Quest'ultimo pubblicò nel 1805 il "*Trattato dell'Arte di Edificare*" nel quale esaminò le costruzioni ai tempi dei Romani e comprese che la qualità eccellente delle loro malte dipendeva dall'estrema cura posta nella miscelazione degli elementi e nel suo costipamento.¹⁷ Nel 1755 vi fu un'importante scoperta che portò alla comprensione delle trasformazioni chimiche della calce per merito di un pioniere della chimica dei leganti Josef Black, nella sua opera *Esperimenti sulla magnesia bianca, la calce viva ed altre sostanze alcaline*.¹⁸ Contemporaneamente in Gran Bretagna si cominciò a sentire l'esigenza di produrre dei leganti adatti a lavorare in acque marine. Quando nel 1750 John Smeaton ricevette l'incarico di ricostruire il Faro di Eddystone a Plymouth utilizzò una malta a base di calce e trass olandese e scoprì, per caso, che il calcare contenente impurità argillose produceva un tipo di calce "idraulica" simile alla calce-pozzolana. Dopo questa scoperta cominciarono diverse sperimentazioni mediante la cottura di calcare ed argilla. Nel 1796 James Parker brevettò un tipo di

¹⁶ **Andrea Rattazzi**, *conosci il grassello di calce? origine, produzione e impiego del grassello in architettura, nell'arte e nel restauro*, EdicomEdizioni, Monfalcone (Gorizia), 2007

¹⁷ **Andrea Rattazzi**, **Alessandro Battaglia**, **Vassili Kafetsis**, *Terra, fuoco, acqua, aria: la calce*, Ermes. Servizi Editoriali Integrati S.r.l., Ariccia (RM), Ottobre 2011

¹⁸ **Andrea Rattazzi**, *conosci il grassello di calce? origine, produzione e impiego del grassello in architettura, nell'arte e nel restauro*, EdicomEdizioni, Monfalcone (Gorizia), 2007

cemento idraulico naturale, detto “romano”, ottenuto mediante la cottura di calcare ed argilla e nel 1812 Louis Vicat realizzò una calce idraulica artificiale miscelando composti artificiali di calcare e creta. Vicat distinse anche per la prima volta la calce idraulica dal cemento: la prima, al contrario del secondo, presuppone lo spegnimento del materiale. Nel 1822 James Frost aggiunse alla ricetta del materiale calcareo frantumato e nel 1824 Joseph Aspdin perfezionò il composto facendo un’attenta selezione dei calcari e raggiungendo i livelli prestazionali tramandati fino ai giorni d’oggi. A quest’ultimo si può assegnare la scoperta del “Cemento Portland” (in realtà ancora calce idraulica), un legante costituito da calcare ed argilla cotto in forni simili a quelli della calce. Solo nel 1845 Isaac Charles Johnson riuscì a produrre un Cemento Portland simile a quello utilizzato fino ai giorni nostri. La differenza risiede nella cottura del materiale che, in questo caso, venne portata a vetrificazione utilizzando un forno particolare, chiamato forno Johnson, che consentiva di passare da 850-900 °C necessari per ottenere il prodotto di Aspdin a 1450-1500 °C necessari per ottenere il vero clinker di cemento. In Italia solo nel XIX secolo si consolidò la conoscenza nella produzione di calci idrauliche. I primi forni erano di tipo verticale a forma di bottiglia o a tronco di cono, e riuscivano ad arrivare a 850-900 °C ma producevano molte dispersioni termiche. Successivamente grazie alle innovazioni tecnologiche derivate dall’utilizzo delle doppie pareti e dal cambio dei combustibili si giunse al passaggio da calci idrauliche a cementi. Negli anni ’70 vi fu la prima crisi petrolifera che sottolineò per la prima volta le criticità del cemento, in particolare, in ambito energetico. Dagli anni 2000 fino ad oggi diventa sempre più comune affrontare temi di “Sostenibilità Ambientale”, “Architettura Ecologica” e “Conservazione del Patrimonio Culturale” e poiché la calce possiede caratteristiche ecologiche e compatibilità con i materiali storici superiori a quelle del cemento, la riscoperta della calce annessa a componenti

vegetali, come il calce-canapa, si presenta come uno di quei materiali in grado di assolvere alle nuove esigenze,¹⁹ anche nell'ambito del restauro e della riqualificazione di edifici storici.

1.2.2 La composizione

La calce è il termine generico per definire le forme chimiche e fisiche sotto le quali possono presentarsi gli ossidi e/o idrossidi di calcio e/o magnesio. Le calci nell'ambito delle costruzioni si suddividono in calci aeree (così chiamate perché induriscono assorbendo anidride carbonica dall'aria) e calci idrauliche (che fanno presa a contatto con l'acqua). Per la produzione delle calci si utilizzano rocce calcaree che provengono da rocce sedimentarie; queste derivano dalla deposizione e dal consolidamento di materiali generati dall'azione disgregante di rocce preesistenti, da sostanze organiche e da precipitazioni di sali.²⁰ Attraverso la cottura di calcari dolomitici e delle dolomie, che contengono oltre al carbonato di calcio anche il carbonato di magnesio ($MgCO_3$), si ottiene un prodotto contenente sia idrossido di calcio ($Ca(OH)_2$) che di magnesio ($Mg(OH)_2$); si ricorre così agli aggettivi “calcico” (calce calcica CL), “magnesiaco” o “dolomitico” (calce dolomitica DL) per specificare la presenza del solo calcio oppure del calcio e del magnesio. Con “calce aerea” si intendono due prodotti ottenuti dalla “calcinazione” o cottura di calcari puri, ad alto contenuto di carbonato di calcio ($CaCO_3$): la calce “viva” chiamata anche “caustica” (principalmente costituita da CaO), ottenuta per cottura ad alte temperature di rocce calcaree e la calce “idrata” detta anche “spenta”,

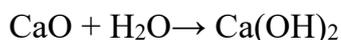
¹⁹ **Marco Adriano Perletti**, *Costruire sostenibile con la canapa*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna, gennaio 2020

²⁰ **Matteo Gastaldi, Luca Bertolini**, *Introduzione ai materiali per l'architettura*, De Agostini Scuola Spa, Novara, 2011

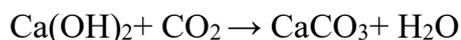
principalmente costituita da idrossido di calcio (Ca(OH)₂).²¹ Il calcare (CaCO₃) viene cotto a 950-1000 °C e durante questo processo si dissocia formando ossido di calcio (CaO) e anidride carbonica (CO₂). Avviene quindi la seguente prima reazione:



Una volta cotta la calce viene estratta dai forni e avviene lo spegnimento, mediante impianti di idratazione che consentono la miscelazione dell'ossido di calce con acqua (una reazione esotermica che avviene con aumento di volume):



L'operazione può essere effettuata in due modi differenti: con eccesso d'acqua, ottenendo così grassello di calce, e con acqua stechiometrica²² che produce calce idrata in polvere. In ogni caso anche quest'ultima per essere utilizzata necessita l'aggiunta di acqua ottenendo una pasta di calce idrata dalle capacità plastiche inferiori a quelle ottenute dal grassello. Questa pasta viene infine miscelata con sabbia per formare malte. La successiva stagionatura comporta due fenomeni: la presa e l'indurimento. Il primo è un processo lento che avviene per evaporazione dell'acqua, il secondo ha luogo attraverso il processo di carbonatazione (la calce spenta reagisce con l'anidride carbonica) e avviene così la seguente reazione:



²¹ **Andrea Rattazzi, Alessandro Battaglia, Vassili Kafetsis**, *Terra, fuoco, acqua, aria: la calce*, Ermes. Servizi Editoriali Integrati S.r.l., Ariccia (RM), Ottobre 2011

²² Quantità d'acqua appena superiore a quella necessaria dal punto di vista chimico

1.2.3 La differenza tra calce idrata in polvere e grassello di calce

Come già è stato detto la principale differenza tra grassello di calce e calce idrata in polvere si trova nella quantità d'acqua utilizzata nella fase dello spegnimento, ma anche nel processo di stagionatura. La calce idrata in polvere non presenta infatti una delle fasi di produzione del grassello, ovvero l'invecchiamento, ma viene utilizzata all'istante nel momento della messa in opera.²³ Al contrario, il grassello di calce viene stagionato per tempistiche lunghe, che arrivano anche a 36-48 mesi. Durante questa fase, attraverso processi di solubilizzazione-ricristallizzazione si generano importanti trasformazioni dal punto di vista morfologico e dimensionale (in particolare, la precipitazione di cristalli nanometrici di idrossido di calcio), che conferiscono al prodotto finale specifiche proprietà di plasticità, lavorabilità e ritenzione d'acqua. La calce idrata in polvere viene prodotta tramite impianti chiamati idratatori e nasce in concomitanza ai leganti cementizi per l'esigenza di commercializzare un legante secco in sacchi come il cemento. Le malte composte con grassello di calce risultano essere più "grasse", quindi più plastiche e lavorabili e meno soggette a ritiro. Anche per quanto riguarda le pitture risulta essere più idoneo l'utilizzo del grassello di calce anziché la calce idrata in polvere poiché ha una minor tendenza a segregare, non richiede additivi organici, carbonata e aderisce al supporto con forza e rapidamente.²⁴

²³ **Matteo Gastaldi, Luca Bertolini**, *Introduzione ai materiali per l'architettura*, De Agostini Scuola Spa, Novara, 2011

²⁴ **Andrea Rattazzi, Alessandro Battaglia, Vassili Kafetsis**, *Terra, fuoco, acqua, aria: la calce*, Ermes. Servizi Editoriali Integrati S.r.l., Ariccia (RM), Ottobre 2011

1.2.4 La differenza tra calce aerea e calce idraulica

Per indicare la capacità dei materiali di indurire sott'acqua Luis Joseph Vicat introdusse agli inizi dell'Ottocento il termine "idraulica" riferito alla calce. Le calci idrauliche sono prodotte a partire da marne calcaree composte da calcare ed argilla, che vengono cotte a temperature più alte rispetto alle calci aeree, ovvero tra i 1100-1250 °C. Si forma così l'ossido di calcio che combinato con la silice e l'allumina dell'argilla forma silicati e alluminati di calcio. Questi composti reagendo chimicamente con l'acqua producono idrati (nello specifico, alluminati di calcio idrati e silicati di calcio idrati) stabili e insolubili, responsabili delle proprietà idrauliche. La calce idraulica viene spenta con una quantità d'acqua stechiometrica necessaria solamente a trasformare l'ossido di calcio in idrossido senza compromettere i silicati e gli alluminati che, se trasformati, non sarebbero in grado di produrre l'azione idraulica. Infatti, l'idratazione deve avvenire contestualmente alla messa in opera, in cui l'idratazione si manifesta con le fasi di presa ed indurimento. La norma europea UNI EN 459-1 denomina le calci idrauliche naturali (Hydraulic Lime, NHL) derivate da calcari argillosi e silicei da calci idrauliche (Hydraulic Lime, HL) ottenute da miscele di calce idrata, silicati e alluminati di calcio idraulici. La norma prevede la possibilità di aggiunte pozzolaniche o idrauliche fino ad un massimo del 20% (NHL-). Le calci idrauliche sono classificate in NHL, NHL-Z o HL 2, 3.5, 5; questi numeri corrispondono al valore minimo della resistenza caratteristica alla compressione della malta normale dopo 28 giorni.²⁵Anche la miscelazione di calce aerea con pozzolana naturale o artificiale genera calce idraulica, di particolare rilievo nelle costruzioni

²⁵ **Andrea Rattazzi**, *conosci il grassello di calce? origine, produzione e impiego del grassello in architettura, nell'arte e nel restauro*, EdicomEdizioni, Monfalcone (Gorizia), 2007

storiche.²⁶ Sebbene si conoscessero già le prestazioni ottenute dalle così dette “calci forti” solo nel Settecento si comprese la correlazione tra calce idraulica e calcare argilloso quando J. Smeaton scoprì che la cottura di calcari contenenti impurità argillose produceva un tipo di calce simile al prodotto ottenuto dalla calce aerea e la pozzolana (appunto calci idrauliche).

1.2.5 Il ciclo della calce

La scelta del calcare

La scelta del calcare è la prima fase del ciclo della calce. Il calcare comprende diverse rocce sedimentarie, composte principalmente da carbonato di calcio (CaCO_3) ed impurità costituite da percentuali di quarzo, sostanze organiche, ossidi di ferro, sostanze carboniose, argille e carbonato di magnesio (MgCO_3). I principali tipi di calcari sono il calcare puro o calcico (costituito di CaCO_3 al 100 %) e la dolomia (costituito di carbonato doppio di calcio e magnesio $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$). In commercio non esistono calcari di tale purezza, perciò, vengono considerati puri se possedenti un contenuto di carbonato di calcio e di magnesio maggiore del 95%. Nel caso i calcari contengano sia il carbonato di calcio che di magnesio si classificano in calcari magnesiaci (se $5\% \leq \text{MgCO}_3 \leq 30\%$) e calcari dolomitici (se $30\% \leq \text{MgCO}_3 \leq 45\%$). Dal punto di vista mineralogico i calcari sono composti da calcite, aragonite, dolomite e magnesite. I calcari considerati essere i migliori per la produzione del grassello di calce sono quelli più puri con un alto tenore di carbonato di calcio e/o di magnesio, contenenti meno del 3-5% di argille che potrebbero creare problemi snaturando la calce come legante

²⁶ **Matteo Gastaldi, Luca Bertolini**, *Introduzione ai materiali per l'architettura*, De Agostini Scuola Spa, Novara, 2011

aereo. Nella documentazione riportata tra il Quattrocento ed il Settecento si espone come già era nota la presenza di “calcina forte”, ottenuta da calcari impuri, per le sue caratteristiche privilegiata per malte d’allettamento murario, e “calcina dolce”, ricavata da calcari bianchi ad alto contenuto di carbonati, utilizzata per intonaci, finiture e coloriture. Nella selezione del calcare è importante tenere in considerazione la tessitura cristallina della roccia, infatti, calcari dalla struttura cristallina di dimensioni elevate richiedono una maggior quantità di energia termica per la decarbonizzazione al contrario di quelli costituiti da una struttura microcristallina e compatta. La pietra utilizzata per la calce viene estratta dalle cave o da ciottoli trovati nei fiumi: anticamente si utilizzavano anche le pietre di spoglio provenienti dalle demolizioni. In passato, per le difficoltà di trasporto, si cercava di ridurre il più possibile la distanza tra cava, la fornace ed il sito di spegnimento ed il luogo di costruzione; oggi le distanze sono di certo aumentate, le cave non coincidono con le fornaci, il luogo di spegnimento e tanto meno con il cantiere. La roccia viene portata ai frantoi e successivamente viene lavata per eliminare le impurità e poi vagliata. I grani più fini (< 20 mm) vengono commercializzati in forma di polvere, quelli più grandi vengono invece avviati alla cottura nelle fornaci.

La fase di cottura

Per cottura si intende la decomposizione termica del calcare avvenente ad una temperatura di circa 900 °C. La reazione chimica produce il passaggio del calcare (CaCO_3) in calce viva o ossido di calcio (CaO) e anidride carbonica (CO_2). Nel corso dei secoli non è mai variato il principio di cottura, ma le tecniche: i forni utilizzati in passato erano rudimentali ed artigianali ed il successo nella realizzazione era dettato dalle nozioni e dalle abilità dell’operatore. Questi vennero sostituiti da

una fabbricazione industriale, automatizzata e ben controllata dove all'operatore spetta il compito di supervisionare e controllare la qualità. La decomposizione del calcare in calce viva è un processo fortemente endotermico richiede perciò un forte apporto di energia termica (calore) come riportato nella Figura 1.9 dove vengono, inoltre, esplicitati i rapporti ponderali e volumetrici del carbonato di calcio e l'energia termica di dissociazione necessaria perché avvenga la reazione.

Rapporti ponderali, volumetrici e contributo energetico della dissociazione termica del carbonato di calcio				
CaCO_3 (solido)	+	Q (calore ovvero energia termica di dissociazione)	\rightleftharpoons	CaO (solido) + CO_2 (gas)
$\rho = 2,7 \text{ kg/dm}^3$				$\rho = 3,34 \text{ kg/dm}^3$
1 kg (0,37 dm ³)	+	1660 kJ (397 kcal)	\rightleftharpoons	0,56 kg + 0,44 kg (0,175 dm ³)
1,785 kg (0,66 dm ³)	+	2965 kJ (708 kcal)	\rightleftharpoons	1 kg + 0,785 kg (0,312 dm ³)
N.B. le masse volumiche ed i volumi sono in "valori assoluti"				

Figura 1.9: Rapporti ponderali, volumetrici e contributo energetico della dissociazione termica del carbonato di calcio²⁷

Attraverso la calcinazione si libera anidride carbonica in misura del 44% in massa rispetto al carbonato di calcio di origine e si forma calce viva che in teoria possiede una percentuale di porosità del 52% rispetto al volume del calcare di partenza. Nei processi industriali si opera a pressione atmosferica, il materiale viene attraversato da una corrente gassosa costituita dai fumi di combustione, che servono per il riscaldamento del materiale stesso. Questi fumi contengono anidride carbonica al 30 % del volume e pertanto la pressione parziale dell'anidride carbonica risulta essere di circa 0,3 atm a cui corrisponde una temperatura di decomposizione di circa 820 °C; tuttavia si opera a temperature più alte comprese tra gli 850 e i 1150 °C per ridurre i tempi di cottura e quindi la velocità di decarbonizzazione. La trasformazione del carbonato di calcio in ossido di calcio si svolge attraverso cinque

²⁷Andrea Rattazzi, "conosci il grassello di calce? origine, produzione e impiego del grassello in architettura, nell'arte e nel restauro", EdicomEdizioni, Monfalcone (Gorizia), 2007

stadi: la trasmissione del calore dall'ambiente alla superficie delle particelle, la conduzione del calore attraverso lo strato già dissociato (CaO) fino alla zona di reazione, la reazione chimica nella zona di reazione, la diffusione di anidride carbonica attraverso lo strato poroso di ossido di calcio fino alla superficie esterna delle particelle ed il trasporto di materia (CO₂) dalla superficie esterna della particella all'ambiente. I principali fattori che influenzano la cinetica di cottura di un calcare sono:

- La temperatura raggiunta dal calcare
- La pezzatura e la forma del calcare
- La massa volumica del calcare
- Il coefficiente di trasmissione del calore del calcare
- Il coefficiente di conduzione termica del guscio di calce cotta (viva)
- La pressione parziale dell'anidride carbonica
- La densità del gas del forno
- La frazione di carbonato di calcio nel materiale cotto

Gli stessi procedimenti valgono per i calcari magnesiaci e dolomitici. Nella produzione si indica la condizione di cottura della calce con il "grado di cottura" suddiviso in cottura dolce ($850 \leq T_{max} \leq 1000^\circ C$), cottura media ($1000 < T_{max} \leq 1100^\circ C$) e cottura forte ($1150 < T_{max} \leq 1300^\circ C$); per la produzione di grassello di calce si predilige una cottura dolce che presenta le seguenti caratteristiche: granulometria più piccola dei cristalli degli ossidi di calcio e di magnesio, superficie specifica maggiore, dimensione dei pori minore e volume totale dei pori maggiore e minore densità apparente (Figura 1.10).



Figura 1.10: calce viva per la produzione di grassello di calce

Lo spegnimento della calce viva

Lo spegnimento o estinzione è il processo attraverso il quale la calce viva o ossido di calce (CaO) viene trasformato in calce idrata chiamata anche “spenta” (Ca(OH)_2), reagendo chimicamente con l’acqua (H_2O). Il procedimento deve essere compiuto in modo completo per evitare la formazione di “bottaccioli” o “calcinaroli” (espulsione di materiale dopo l’indurimento), che realizzerebbero l’idratazione durante l’impiego. L’idrossido di calcio non forma alcun idrato stabile ma a temperature al di sotto dei 30°C contiene un eccesso d’acqua di assorbimento superficiale che viene ceduto con continuità sotto effetto del calore come si evince dalla Figura 1.11.

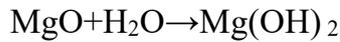
Rapporti ponderali, volumetrici e contributo energetico dell'idratazione dell'ossido di calcio				
CaCO_3 (solido)	+	H_2O (liquido)	→	Ca(OH)_2 (solido) + Q (energia)
$\rho = 3,3 \text{ kg/dm}^3$		$\rho = 1 \text{ kg/dm}^3$		$\rho = 2,24 \text{ kg/dm}^3$
1 kg	+	0,32 kg	→	1,32 kg
0,3 dm ³	+	0,32 dm ³		0,59 dm ³
				1162 kJ/kg CaO (278 kcal/kg CaO)
0,76 kg	+	0,24 kg	→	1 kg
0,23 dm ³		0,24 dm ³		0,45 dm ³
				879 kJ/kg Ca(OH)_2 (210 kcal/kg Ca(OH)_2)
N.B. le masse volumiche ed i volumi sono in "valori assoluti"				

Figura 1.11: rapporti ponderali, volumetrici e contributo energetico dell'idratazione dell'ossido di calcio²⁸

La quantità assorbita dipende dalla temperatura, dalla superficie specifica perciò dalle condizioni di spegnimento. Durante questo processo si ha un aumento di volume pari a circa 2-3 volte quello della calce viva di partenza. La velocità della reazione aumenta all'aumentare della temperatura, tuttavia, a partire da circa 350 °C l'equilibrio termodinamico inizia a retrocedere verso la dissociazione dell'idrossido di calcio in ossido e vapore acqueo, per invertirsi completamente dai 480 °C. Le proprietà dell'idrossido di calcio dipendono dal calcare d'origine e dal grado di cottura. Più la temperatura di cottura è elevata, più la calce viva è lenta da spegnere e presenta minor porosità. Si distinguono lo spegnimento in fase liquida e quello in fase di vapore (utilizzata per la fabbricazione industriale di calce idrata secca). Lo spegnimento in fase di vapore presenta delle velocità di reazione nettamente superiori. Il tipo di acqua utilizzato nel processo di spegnimento è molto importante, essa deve essere dolce, priva o con il minor contenuto possibile di sali (in particolare di solfati) e non trattata con cloro. Nella fase di spegnimento è richiesta un'osservazione continua, in particolare per la temperatura che deve rimanere tra gli 80 e i 95°C. Il rapporto di massa acqua/calce è di circa 2-4/1, si ottiene così una pasta densa con tenori di solido di circa 30-60% in massa; parte dell'acqua utilizzata viene eliminata per evaporazione e/o dispersione. Una calce può in seguito definirsi "grassa"

²⁸ **Andrea Rattazzi**, "conosci il grassello di calce? origine, produzione e impiego del grassello in architettura, nell'arte e nel restauro", EdicomEdizioni, Monfalcone (Gorizia), 2007

se il contenuto d'acqua è minimo, presenta un forte sviluppo di calore ed un forte rigonfiamento garantendo un'ottima plasticità della pasta; "magra" se presenta un minor sviluppo di calore, un minimo rigonfiamento e produce una pasta meno plastica con presenza di impurità, in particolare ossido di magnesio. Nel caso il calcare impiegato fosse di tipo magnesiaco o dolomitico dopo la cottura si ottengono rilevanti quantità di ossido di magnesio MgO ed in seguito allo spegnimento si produce idrossido di magnesio o brucite (Mg(OH)₂). Si ottiene così la seguente reazione:



Questa reazione avviene a velocità inferiore a quella avvenente con una calce calcica, sviluppa inoltre meno calore e rigonfia meno. Tuttavia, presenta un notevole aumento del "volume solido apparente"; nel caso questo processo si sviluppasse lentamente possono verificarsi fessurazioni, rigonfiamenti o distacchi. Per questo motivo, l'idratazione completa dell'idrossido di magnesio richiede temperature più elevate, sotto pressione di vapore acqueo. Lo spegnimento della calce può avvenire in modo tradizionale/artigianale o moderno/industriale. I processi tradizionali di spegnimento avvengono per fusione, per aspersione e per immersione. Il metodo più utilizzato è quello della fusione: la calce viva viene spenta con acqua in apposite fosse scavate nel terreno o in vasche, un tempo in legno ed in seguito in calcestruzzo (Figura 1.12).



Figura 1.12: vasca di grassello di calce, foto prodotta dall'autore

Il metodo “per aspersione” prevedeva il collocamento della calce viva in un bacino circolare dove veniva prima ricoperta da sabbia e successivamente bagnata. Il metodo “per immersione” (chiamato anche De Lafaye), prende piede solo alla fine del Settecento e prevede la frantumazione della calce fino a raggiungere le dimensioni di una noce; i ciottoli venivano in seguito posti in un paniere immersi in acqua ed estratti immediatamente nel mezzo della reazione di idratazione. Lo spegnimento moderno/industriale nasce a fine Ottocento con l'industrializzazione e la nascita della Scienza dei Materiali e inserisce l'utilizzo di apparecchi meccanici chiamati “idratatori” basato sul rapporto stechiometrico dell'ossido di calcio con l'acqua per ottenere l'idrossido di calce in polvere. Questo metodo nasce dalla necessità di commercializzare un materiale meno caustico, più comodamente distribuibile ed accomunabile agli altri prodotti in polvere. Nella produzione odierna si utilizzano impianti chiamati “estintori” alimentati allo stato liquido o allo stato di vapore (spegnimento a umido e a secco). L'impianto per lo spegnimento a umido è costituito da un serbatoio con un miscelatore: la calce in zolle viene introdotta con un impianto di

alimentazione mentre l'acqua viene spruzzata tramite "ugelli"; i residui solidi vengono espulsi mediante dispositivi di scarico, la polvere e i vapori vengono aspirati mentre un dispositivo mantiene la temperatura. L'impianto può anche essere dotato di un meccanismo per il controllo della densità della miscela; se quest'ultima risulta essere troppo diluita può essere pompata in concentratori dove viene alimentata l'acqua in eccesso. Gli impianti di spegnimento a secco producono un idrato in polvere non espansivo di grande finezza lavorando a processo continuo. Questo sistema prevede la frantumazione della calce in zolle di 15 mm, in seguito viene portata ai silos di deposito e ad una coclea mescolatrice dove viene aggiunta l'acqua. Il materiale umido scende quindi nella vasca di spegnimento dove avviene la reazione di idratazione vera e propria; le particelle spente si stratificano nella parte superiore dove vengono estratte con un dispositivo di troppopieno, le particelle non spente restano in vasca fino a continua estinzione. Il controllo dell'impianto avviene attraverso un quadro di comando dove è possibile regolare la temperatura, il consumo energetico e l'aggiunta d'acqua. Lo spegnimento sotto pressione si impiega con calci poco reattive (come quelle dolomitiche): la calce viva e l'acqua vengono introdotte in un recipiente a pressione con una quantità d'acqua circa doppia a quella necessaria all'idratazione. In seguito, viene fatto confluire il materiale in una camera di espansione dove l'acqua evapora e viene raccolto l'idrato in polvere con apposite apparecchiature.

La stagionatura della calce

A seguito dei processi di spegnimento la calce può essere conservata in ambiente anaerobico per diverso tempo: questo processo è chiamato stagionatura o maturazione o invecchiamento. È noto fin dall'Antichità che il tempo di stagionatura deve essere molto lungo: Plinio il Vecchio

nella sua enciclopedia *Naturalis Historia* afferma che per ottenere un grassello di buona qualità oltre ad utilizzare calcari puri bisognava lasciarlo riposare e accenna a regole che vincolavano la maturazione a tre anni. Se il grassello fosse stato destinato ad uso intonaco, la stagionatura avrebbe dovuto essere prolungata il più possibile; al contrario, per le murature e per le fondazioni, poteva anche subire una maturazione più breve. È bene tener conto di alcuni accorgimenti in modo tale da evitare una parziale carbonatazione della calce ed un legante inertizzato al momento della presa. Questa criticità può essere evitata con una costante sommersione del grassello in acqua. È noto come mentre la stagionatura del grassello di calce favorisca il miglioramento delle prestazioni del materiale stesso e delle malte composte con esso, le paste di calce idrata e le malte confezionate con esse non raggiungano i livelli di lavorabilità, velocità ed entità di carbonatazione, di sviluppo delle resistenze meccaniche e di durabilità delle prime. Ad oggi il processo della stagionatura è quasi sempre omissivo ed il grassello viene insacchettato quasi immediatamente per essere commercializzato subito riducendo i tempi ed i costi conseguenti allo stoccaggio del materiale in vasca.

I cambiamenti microstrutturali del grassello di calce nel tempo

Gli studiosi non hanno mai affrontato in modo approfondito dal punto di vista chimico-scientifico cosa succede al grassello di calce durante e dopo stagionatura prediligendo spesso leganti rapidi, energici e in forma di polvere. Nei primi decenni del XX secolo si affrontano i primi studi volti ad approfondire le cause del differente comportamento del grassello di calce invecchiato. A questo proposito Holmes e altri nel 1922 compresero che il grassello di calce prodotto dallo spegnimento di calce viva in acqua sedimentava tanto più lentamente quanto più veniva conservato sott'acqua. Cowper nel 1927 affermò che l'invecchiamento

era in grado di attenuare le differenze iniziali delle paste fresche e di idratare completamente l'ossido di calce evitando la formazione dei bottaccioli. Ray e Mather nel 1928 affermarono che le paste di calce idrata possiedono un comportamento da "colloidi irreversibili" e che il grassello una volta essiccato non riacquista le caratteristiche colloidali se immerso di nuovo in acqua. Palmer e Parson nel 1932 e Roger e Blaine nel 1934 dimostrano che le malte di grassello presentano la massima "ritenzione d'acqua" al contrario delle malte a base cementizia. Boynton osserva che i grasselli di calce ottenuti da calce viva disciolta in acqua continuano a migliorare la plasticità anche dopo un anno di invecchiamento, a differenza delle paste di calce idrata. Recenti studi, condotti mediante moderne tecniche d'indagine, dimostrano, tramite le modificazioni microstrutturali, i motivi per il quale l'invecchiamento migliori nettamente la qualità del grassello. Fino a pochi anni fa si riteneva, in base alla teoria della ricristallizzazione di Ostwald, che il miglioramento del grassello dato dal suo invecchiamento era riconducibile alla solubilizzazione dei cristalli di portlandite (cioè, di idrossido di calcio) più piccoli fino a procedere verso quelli di dimensioni maggiori; in realtà ciò che avviene è esattamente l'opposto. Durante la stagionatura i cristalli di portlandite sono in una condizione di "non equilibrio". Questi cristalli, perciò, ricercano la stabilità e "l'equilibrio termodinamico" generando cristalli submicronici di abito tabulare (lamellare). Questi ultimi presenti in grandi quantità e i cristalli nanometrici di seconda formazione, presenti solo nel grassello di calce stagionato a lungo, possiedono la capacità di assorbire una maggior quantità d'acqua rispetto ai cristalli micrometrici e inoltre riducono l'attrito interno conferendo le eccellenti qualità reologiche ormai note. Gli studi effettuati mettono in evidenza anche che all'aumentare della stagionatura del grassello, diminuisce la cristallinità della portlandite ed aumenta la superficie specifica della stessa. Queste caratteristiche fanno

del grassello di calce uno dei più antichi nanomateriali della storia. Alcune indagini fatte su grasselli invecchiati con diverse tempistiche ed una pasta di calce idrata commerciale, entrambe con un rapporto acqua/solido (1:1) e dallo stesso contenuto di idrossido di calcio (97%) dimostrano che uno dei metodi migliori per valutare l'evoluzione microstrutturale durante la stagionatura è eseguirle con un viscosimetro rotazionale. Infatti, sia il contenuto di sostanza solida sia l'invecchiamento sono fattori principali nel determinare la viscosità. La viscosità dinamica aumenta con il contenuto solido: quella dei grasselli invecchiati è di circa 100 volte superiore a quella dei grasselli freschi, a pari contenuto solido. Negli ultimi tempi si è anche scoperto che l'aggregazione delle particelle colloidali nei grasselli tradizionali si presenta in particolare quando sottoposto ad invecchiamento. Questo fenomeno porta alla formazione di agglomerati porosi, in maggior parte cristalli nanometrici lamellari d'idrossido di calce orientati in modo casuale; sono tuttavia presenti anche agglomerati di nanoparticelle iso-orientate. Le prime presentano un comportamento reversibile, le seconde irreversibile poiché formano una vera e propria struttura cristallografica stabile che non viene demolita se dispersa in acqua. Questo fenomeno ha un effetto negativo sulla reologia e sulla reattività alla carbonatazione delle calce idrate e del grassello (se lasciato essiccare), mentre il grassello tradizionale mantiene un comportamento colloidale e tutti i benefici portati da esso.²⁹

²⁹ **Andrea Rattazzi**, *“conosci il grassello di calce? origine, produzione e impiego del grassello in architettura, nell'arte e nel restauro”*, EdicomEdizioni, Monfalcone (Gorizia), 2007

La presa e l'indurimento

I leganti aerei sono chiamati così appunto perché reagiscono con l'aria questo processo è chiamato carbonatazione. La reazione chimica che ne consegue è la seguente:



In questo modo si conclude il ciclo della calce. Nel 1812 lo scienziato Luis Joseph Vicat espone per la prima volta le cause che determinano la presa: egli sostiene che questo fenomeno consiste in una concentrazione della massa solida per evaporazione dell'acqua determinando un addensamento delle particelle solide di calce spenta. In seguito, avviene l'indurimento per effetto della trasformazione dell'idrossido di calcio in carbonato di calcio per mezzo dell'anidride carbonica. Questo processo risulta essere estremamente lungo e necessita di maggiori accortezze da parte dell'operatore in fase di produzione e lavorazione, motivo per il quale nel tempo il grassello di calce è stato abbandonato a favore dei leganti idraulici. La carbonatazione, come mostra la Figura 1.13, sviluppa una grande quantità di calore ed un aumento del volume che riempie i vuoti precedentemente occupati dall'acqua libera.

Rapporti ponderali, volumetrici e contributo energetico della carbonatazione dell'idrossido di calcio				
Ca(OH)_2 (solido)	+	CO_2 (gas)	\rightarrow	CaCO_3 (solido) + H_2O (liquido) + Q (calore)
$\rho = 2,24 \text{ kg/dm}^3$				$\rho = 2,71 \text{ kg/dm}^3$ $\rho = 1 \text{ kg/dm}^3$
1 kg	+	0,594 kg	\rightarrow	1,351 kg + 0,243 kg + 1522 kJ/kg Ca(OH)_2 (364kcal/kg Ca(OH)_2)
0,446 dm ³ (solido)		325 dm ³ (CO_2)*		0,498 dm ³ (solido) 0,243 dm ³ (liquido)
N.B. le masse volumiche ed i volumi sono in "valori assoluti"				
*corrispondenti a circa 900 m ³ di aria a 20 °C				

Figura 1.13: Rapporti ponderali, volumetrici e contributo energetico della carbonatazione dell'idrossido di calcio³⁰

³⁰ **Andrea Rattazzi**, "conosci il grassello di calce? origine, produzione e impiego del grassello in architettura, nell'arte e nel restauro", EdicomEdizioni, Monfalcone (Gorizia), 2007

La presa è la prima fase dell'evoluzione dell'azione del legante, essa è caratterizzata da una graduale perdita della lavorabilità, della plasticità e della deformabilità e di un primo rassodamento che conferisce rigidità senza sviluppare una vera e propria resistenza meccanica. Il tempo di presa del grassello dipende essenzialmente dalle condizioni climatiche e comincia con l'evaporazione dell'acqua libera di costituzione della malta di grassello. In questa fase l'idrato di calcio disciolto in acqua inizia a precipitare per evaporazione del solvente e si salda alle particelle solide d'idrato in sospensione; si sviluppa inoltre una riduzione di volume ed un rassodamento della malta. L'indurimento è la seconda fase dell'evoluzione del legante, comincia convenzionalmente con la fine della presa e può protrarsi per mesi o anni. L'indurimento è prodotto dalla reazione chimica di carbonatazione dell'idrossido di calcio ed è accompagnato dal progressivo indurimento della superficie per formazione del reticolo cristallino di carbonato di calcio, per l'espulsione dell'acqua, per l'aumento delle dimensioni delle particelle e dallo sviluppo di calore.³¹

³¹ **Andrea Rattazzi**, *conosci il grassello di calce? origine, produzione e impiego del grassello in architettura, nell'arte e nel restauro*, EdicomEdizioni, Monfalcone (Gorizia), 2007

1.3 La canapa

1.3.1 Origini

Una delle definizioni più semplici ed efficaci della canapa viene data da Shultes nel 1970: “è una pianta verde, molto abbondante ed ubiquitaria. È sorprendentemente preziosa da un punto di vista economico, è potenzialmente pericolosa, certamente misteriosa sotto molti aspetti”. La canapa possiede origini molto antiche, le prime testimonianze storiche risalgono all'erbario pubblicato durante il Regno dell'imperatore Shen Nung circa 4500 anni fa, difatti si considera l'origine della pianta nell'Asia centrale (Figura 1.14) dove cresce spontaneamente (Russia, Afghanistan, Iran, Cina e India). L'utilizzo della *ma* (cannabis) era destinato a trattare casi di “disordini femminili, gotta, reumatismi, malaria, stipsi e debolezza mentale”.³² In Cina nel I secolo a.C. con le fibre della pianta si realizzò la prima carta ed oltre alle conosciute proprietà rilassanti e psichedeliche veniva utilizzato come analgesico per la medicina e come nutrimento in carestia, ma l'utilizzo principale era il confezionamento di indumenti. In Europa la diffusione della canapa avvenne lentamente, probabilmente tramite i nomadi delle tribù dell'Asia Centrale. Uno tra i primi storici a parlarne fu il greco Erodoto di Alicarnasso vissuto tra il 490 ed il 420 a.C. nelle sue *Historiae*; egli scrive che la canapa era particolarmente diffusa tra gli Sciiti; quindi, è probabile che attraverso loro si diffuse in Europa. La canapa era sicuramente già utilizzata in Italia tra il V ed il IV secolo a.C. ma il primo a parlarne fu Lucilio, poeta satirico latino, nel I secolo a.C..

³² Steven Wishnia, *La Cannabis. Proprietà, storia, impieghi, folklore*, L'Airone Editrice, Roma, 2004

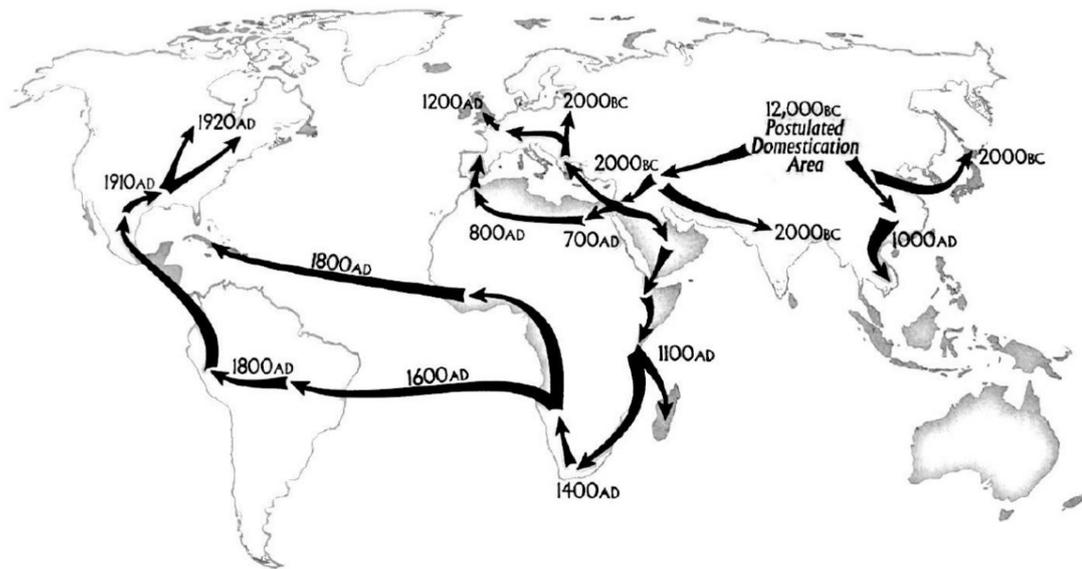


Figura 1.14: mappa della presunta diffusione della canapa nel mondo³³

Ai tempi dei Romani la canapa veniva utilizzata in campo militare per vele e corde nelle imbarcazioni; è molto probabile che le legioni romane la introdussero in Piemonte dalla zona Casanova, a Carmagnola fino al Canavese, che secondo alcune fonti prende da essa il suo nome. Lo scarso utilizzo della canapa in epoca romana è dovuto al fatto che allo stesso tempo era diffuso il lino del quale se ne faceva un largo utilizzo. Questa situazione si protrasse fino al XIV secolo, quando si fondò l'industria della canapa nel bolognese e Papa Gregorio IX proibì la fuoriuscita del materiale dai confini della città per non sottrarre lavoro ai cittadini. Tra il XIV ed il XV secolo la canapa raggiunse il massimo fulgore sia economicamente sia nell'ambito dell'agricoltura e si protrasse per circa 500 anni. Filippo Re ricorda come nel 1806 si applicava una sorta di rotazione agricola in cui si alternava canapa e frumento. Diversi studiosi riportano anche l'arrivo della canapa nel Nuovo Mondo a partire dalla fine del 1500, alcuni sostengono che la Dichiarazione d'Indipendenza venne scritta su carta prodotta mediante le fibre di

³³ Marco Adriano Perletti, *Costruire sostenibile con la canapa*, Maggioli Editore, gennaio 2020

canapa. Tra il 1840 ed il 1860 negli Stati Uniti crebbe la domanda di canapa per la richiesta da parte della marina militare statunitense, dopodiché la produzione diminuì (fatta eccezione per il periodo della Prima e della Seconda Guerra Mondiale) favorendo materiali più economici come la juta. Anche in Italia la produzione di canapa diminuì notevolmente specialmente dopo la Seconda Guerra Mondiale quando si passò da una coltura di 105000 ettari nel 1943 a 1000 ettari nel 1970. Molti attribuiscono la decadenza della canapa alla produzione del cotone americano e successivamente alle fibre artificiali, ma anche alla fine dell'utilizzo di alcune componenti per la marineria come le funi e le vele. In questo periodo si cercò di porre un freno al declino della coltura di canapa con diverse iniziative, a partire dalla qualità della pianta alla sua produzione, tra cui la Costituzione dei consorzi provinciali obbligatori nelle regioni canapicole, della Federazione Nazionale dei Consorzi (Federcanapa), dell'Associazione Produttori Canapa nel periodo 1931-1933, del Consorzio Nazionale Canapa nel 1944, del Consorzio Nazionale Produttori Canapa (CNPC) nel 1953 e le numerose leggi e decreti in favore della coltura (Roversi, 1937; Sgherri, 1955). Dal 1956 in Italia iniziarono i primi studi volti al miglioramento genetico che portarono alla costituzione delle cultivar Fibranova (1961), Superfibra al Nord e T4 al Sud. I risultati ottenuti furono notevoli ma non sufficienti a riportare la canapa al vertice; perciò, seguirono circa 20 anni di silenzio e disinteresse. Gli elementi psicotropi della canapa furono uno delle cause minori alla limitazione della sua produzione nel XX secolo, tuttavia, divenne la prima causa negli anni successivi. In Italia l'impedimento al rilancio della canapa avvenne con la legge n. 685 del 22 dicembre 1975, art. 26 (Venturi, 1977; Rivoira et al., 1984). Dall'inizio degli anni '90 si verifica una riscoperta del materiale in parte dovuto al peggioramento delle condizioni ambientali dettate dalle grandi industrie di prodotti sintetici. Le proprietà ecologiche della canapa sono perciò esaltate grazie

al rilancio di prodotti derivati dall'agricoltura, non solo per usi correlati a quelli del passato ma anche per nuovi utilizzi (talvolta connessi ad altri materiali) dei quali ancora non se ne conoscevano le potenzialità. In questo periodo si ha un cambio della politica agricola comunitaria, dovuto alle eccedenze delle produzioni tradizionali che in parte favorirono la produzione di colture non food come la canapa. Nel 1997 viene posta fine alle proibizioni che limitavano la coltura della canapa e nel 1998 il progetto HEMP for Europe (Cromack et al., 1997; Amaducci S. e Venuri, 1998) finanziato dall' UE si interessò alla produzione sia della fibra sia del seme. Sempre nel 1998 in Italia sorge il Coordinamento Nazionale per la canapicoltura (ASSOCANAPA), un'associazione che riunisce agricoltori e appassionati che vogliono impegnarsi per lo sviluppo della canapicoltura in Italia. Successivamente dal 2000 in poi si sviluppò interesse anche per l'industria tessile, per il settore cartario, per la produzione di pannelli, per la bioedilizia, per l'industria dell'automobile, per i tessuti non tessuti, per le lettiere, per usi alimentari, per medicinali e cosmetici. Nella seguente figura (Figura 1.15) vengono raffigurati i diversi utilizzi per la canapa.

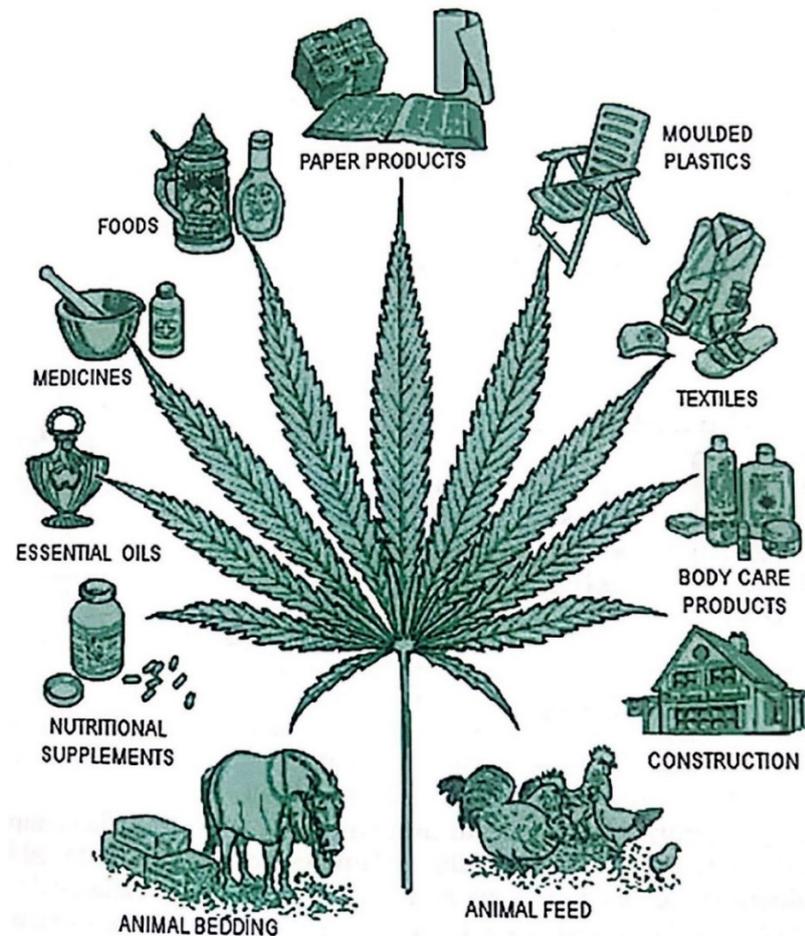


Figura 1.15: usi della canapa³⁴

La canapa oggi può ricondursi ad una coltura di nicchia, della quale la resa per ettari risulta essere molto bassa ed i costi molto elevati, oppure a grandi colture di grande resa e bassi costi. La molteplicità degli usi alla quale può essere destinata risulta essere molto vasta, perciò, il materiale può essere considerato di notevole interesse per molti settori.³⁵ La pianta di canapa può crescere fino a 4 metri in un periodo di quattro mesi, con una bassa richiesta di fertilizzanti e di irrigazione, il che la rende molto efficiente in termini di tempi e risorse. Tutte le parti della pianta possono

³⁴ Marco Adriano Perletti, *Costruire sostenibile con la canapa*, Maggioli Editore, gennaio 2020

³⁵ Gianpietro Venturi, Stefano Amaducci, *Giornata di studio: "Aggiornamenti e prospettive per la coltura della canapa"*, estratto da I GEORGOFILI-QUADERNI-2003-II, Accademia dei Georgofili, Firenze 2004

essere utilizzate: il seme per gli alimenti, la fibra che circonda il fusto per la carta, il tessuto e la resina di rinforzo ed infine il nucleo legnoso del fusto come lettiera per animali e aggregato nelle costruzioni in canapa-calce.³⁶

1.3.2 La composizione botanica

La tassonomia ufficiale posiziona la canapa nella famiglia delle Cannabaceae o Cannabinacee, la quale appartiene all'ordine delle Urticales. Tutte le specie di Cannabaceae mediante la formazione di ghiandole particolari producono secrezioni contenenti il principio attivo denominato tetraidrocannabinolo, conosciuto meglio con la sigla THC. Secondo la classificazione di D. E. Janichewsky (1924), un botanico russo, la canapa viene suddivisa in tre diverse specie (Figura 1.16 e Figura 1.17): *Cannabis sativa* L., *Cannabis indica* Lam. e *Cannabis ruderalis* Janisch. In alternativa a questa, Small e Cronquist nel 1976 espongono una nuova classificazione che prevede l'esistenza di una sola specie molto variabile, *Cannabis sativa* L., composta da due sottospecie: *sativa*, usata per la fibra e per l'olio; *indica*, ricca di resina e THC.



Figura 1.16: foglie di canapa, da sinistra a destra: sativa, indica e ruderalis³⁷

³⁶ Dr Mike Lawrence, Dr Enrico Foddeb, Dr Kevin Painec , Prof. Pete Walkerd, *Hygrothermal performance of an experimental hemp-lime building*, BRE Centre for Innovative Construction Materials, University of Bath, Bath, BA2 7AY, United Kingdom, 2012

³⁷ Marco Adriano Perletti, *Costruire sostenibile con la canapa*, Maggioli Editore, gennaio 2020

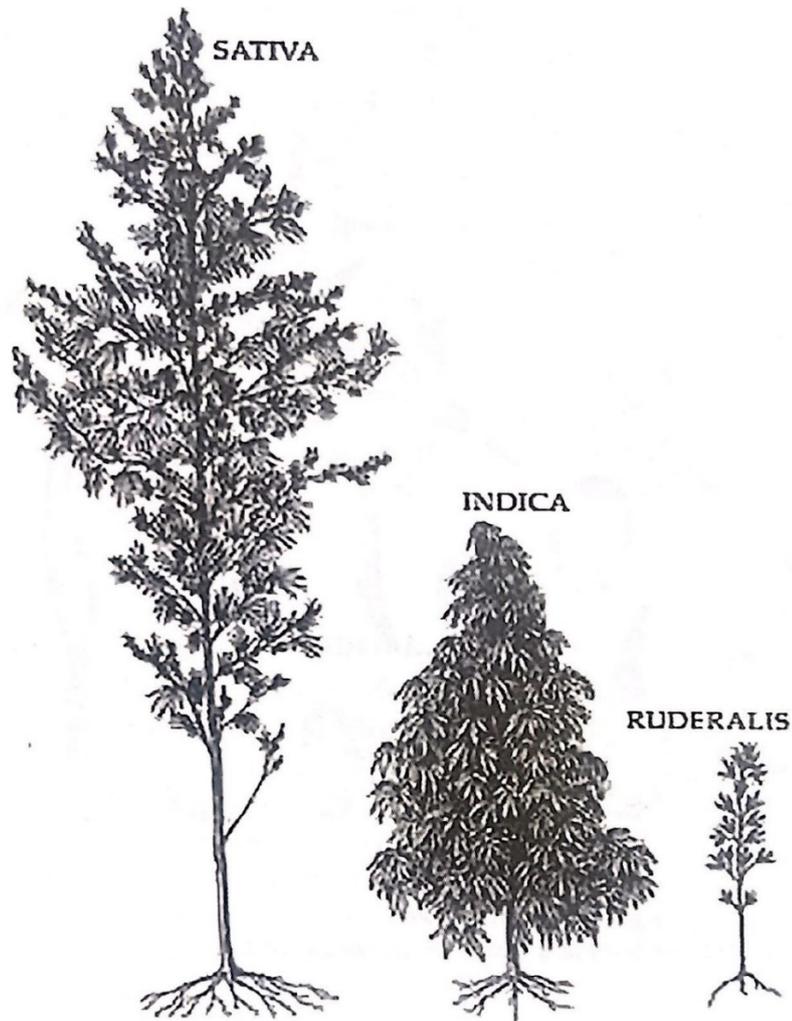


Figura 1.17: piante di canapa a confronto³⁸

In generale è possibile definire la canapa come una pianta annuale, in natura dioica (si trovano circa al 50% esemplari che portano solo fiori femminili ed esemplari che portano solo fiori maschili), caratterizzata da un fusto esagonale eretto e ricoperto di peli, più o meno ramificato, vigoroso, dapprima pieno e poi cavo con escrescenze resinose. La popolazione della canapa è tuttavia molto variabile il che significa che ad esempio di possono trovare piante che sullo stesso stelo che possiedono fiori maschili e femminili (monoicismo), piante aventi alti livelli di THC, piante che ne sono prive e con colorazioni delle foglie differenti (dal

³⁸ **Marco Adriano Perletti**, *Costruire sostenibile con la canapa*, Maggioli Editore, gennaio 2020

verde chiaro al verde scuro al violaceo). L'altezza varia da 1 a 5 metri a seconda della varietà, delle condizioni pedologiche, climatiche e dalla densità di semina. La sezione del fusto varia da pochi millimetri ad alcuni centimetri ed è caratterizzato da una corteccia esterna di colore verde composta da fibre tenute insieme da pectine e da una parte interna chiamata canapulo, di colore bianco molto leggero. La fibra risulta essere il 25/30 % del fusto ed è costituita per circa l'82% da cellulosa e per il 6% da lignina; il canapulo rappresenta il 70/75% ed è costituito da circa il 77% di cellulosa e circa il 19% di lignina. Se la pianta è grossa le fibre risulteranno più grossolane e robuste ed in generale risultano essere più fini man mano che si raggiunge la cima. La radice è un robusto fittone con esili ramificazioni sui lati che crescono considerevolmente nel primo mese (prevalendo sul fusto) allungandosi fino ad una profondità di circa 150 cm nei terreni sciolti. In seguito, il fusto cresce fino alla fioritura. Le foglie si sviluppano in ogni nodo del fusto, esse sono picciolate, provviste di stipole, palmate e composte da 5-13 foglioline lanceolate (in genere 7 in base alla quantità di luce), con margine dentato, punte acuminate e lunghe fino a 10 cm. Le infiorescenze maschili (staminiferi: Figura 1.18) sono pannocchie composte da numerosi racemi costituiti da un perigonio a 5 pezzi giallo-verdastri; quelle femminili (pistilliferi: Figura 1.19) si formano sulle cime una decina di giorni dopo quelle maschili e possiedono una forma a falsa spiga, grossa, dritta e a ciuffo.



Figura 1.18: infiorescenze maschili, Firenzuoli et al. (2015)



Figura 1.19: infiorescenze femminili, Firenzuoli et al. (2015)

La canapa produce una grande quantità di polline (fino a 30-40 g per pianta) che può formare delle nubi ed estendersi fino a 30 metri di altezza e 10 chilometri di distanza. L'impollinazione è anemofila; germina in primavera, fiorisce in estate e presenta i primi frutti in autunno. Questi ultimi sono acheni duri e globosi contenenti un seme composto al 20/25% di proteine, al 20/30% di carboidrati, al 25/30% di olio e al 10/15% di fibre (Figura 1.20).



Figura 1.20: illustrazione botanica della Canapa sativa L.³⁹

1.3.3 La coltivazione ed il ciclo di vita

La coltura della canapa è molto adattabile, non teme le gelate tardive, resiste alla carenza d'acqua più delle altre colture industriali ma muore se si verifica ristagno d'acqua. In generale predilige climi temperati e assenza di vento, temperature poco superiori allo 0 °C per la germinazione, circa 20 °C per la fioritura e di 13 °C per la maturazione.

³⁹ Marco Adriano Perletti, *Costruire sostenibile con la canapa*, Maggioli Editore, gennaio 2020

In passato per il suo svariato utilizzo (domestico, agricolo e militare), la canapa è stata coltivata in tutte le regioni italiane (Figura 1.21).



Figura 1.21: immagini storiche della coltivazione e raccolta della canapa⁴⁰

Oggi la canapa può essere coltivata in serra (per la produzione di infiorescenze) o nei campi (per la produzione di fusti). Le infiorescenze vengono utilizzate in diversi settori, per esempio: la parte esterna, denominata tiglio, viene utilizzata nel settore tessile; quella interna, il canapulo, viene usata nell'edilizia. Per quanto riguarda la lavorazione, in passato, il contadino cominciava la preparazione del terreno con una serie di arature, successivamente seguiva la concimazione del terreno mediante letame e l'aggiunta di pannelli di semi oleosi detti "panadelle". A questo proseguiva la semina a mano, solitamente nel mese di marzo. Da fine luglio partiva la raccolta a mano mediante l'aiuto di un falchetto. Le piante tagliate e raccolte in manipoli venivano lasciate essiccare a

⁴⁰ **Marco Adriano Perletti**, *Costruire sostenibile con la canapa*, Maggioli Editore, gennaio 2020

terra per circa 5 giorni e dopo venivano sbattute per liberare le piante da ogni residuo di foglie e d'infiorescenze. Dopo si lasciavano al sole per 3-4 ore, i fasci venivano sollevati in verticale ed uniti tra loro formando le così dette "pile" o "prille" di forma conica e diametro di 2-3 metri. Terminata la stagionatura, iniziava la tiratura. Si distendeva la canapa su un cavalletto, chiamato "bancata", alto circa 50 cm da terra e lungo 3 metri con all'estremità due pioli per non farla cadere a terra. Le piante venivano così uniformate alla stessa altezza e iniziava la fase della macerazione per poter estrarre le fibre della pianta. I fasci venivano disposti in vasche d'acqua chiamate "maceri" o "maceratoi" per 6-9 giorni. Una volta estratte dall'acqua si lasciavano asciugare ed essiccare su un campo d'erba per 2-3 giorni e successivamente cominciava l'operazione della stigliatura, ovvero l'operazione di separazione della fibra dalla parte legnosa. In primo luogo, si procedeva con la "scavezzatura" ovvero la percussione della pianta in modo da allontanare il nucleo legnoso, successivamente con la gramolatura per rendere la fibra più morbida e fine, eliminando i più piccoli canapuli. Infine, si concludeva la lavorazione con la scolatura ovvero il processo mediante il quale si faceva passare la fibra attraverso un pettine di legno, liberandola dai residui legnosi e rendendola liscia e pronta per le operazioni future. Questa lavorazione richiedeva un impiego di circa 1200 ore di manodopera per ettaro, garantiva quindi occupazione a circa 30000 operai ma le condizioni di lavoro risultavano particolarmente difficili, perciò, nel 1958 iniziò la crisi: le fibre naturali vennero via via sostituite da quelle sintetiche e la canapa, in particolare, venne rimpiazzata dal nylon e dal cotone proveniente dagli Stati Uniti d'America nettamente più economici. Solo alla fine degli anni '90 si riscoprì la canapa ed i suoi utilizzi. La canapicoltura moderna si affida all'industria per tutte le fasi produttive post-raccolta grazie al quale si possono ottenere: fibre lunghe, fibre corte, canapulo e semi. Le fibre lunghe vengono utilizzate per

tessuti di abbigliamento, arredamento, corde e tappeti; quelle corte per la carta, i feltri isolanti, geotessili e compositi; il canapulo per pannelli isolanti, materiale inerte per l'edilizia e lettiere; i semi per olio alimentare, cosmetica, vernici e resine. L'impianto è utilizzato per il trattamento delle paglie di canapa macerata in campo per 30/40 giorni, con un'umidità massima del 13% e una purezza minima del 98%. Il trattamento comincia con una quantità di circa 6/8 q.li/ora con la quale si ottengono rotoballe di 120 cm di diametro 130/140 cm e dal peso di 2.5/2.8 q.li. Al termine dell'operazione si ottengono 20/25% di fibra corta, 70/75% di canapulo e 5% di polveri. Il risultato consente un grado di pulizia del 90/95% per le fibre e del 87/95% per il canapulo. L'impianto è composto da tre moduli: modulo di alimentazione, modulo di separazione e modulo pulizia. Il modulo di alimentazione prevede la sfaldatura delle rotoballe mediante denti metallici posizionati sulle traverse di una catenaria. Il materiale risultante viene convogliato al modulo di separazione tramite un nastro trasportatore. Il modulo di separazione è costituito da tre battitori ed i relativi controbattitori: il materiale viene dapprima spinto nel primo dove avviene una prima frammentazione, nel secondo viene sminuzzata e separata dalla fibra e nel terzo si ottiene la scissione definitiva della parte fibrosa dal canapulo. A questo punto il materiale viene convogliato nel modulo di pulizia costituito da un vaglio rotante inclinato sotto il quale si trova un nastro trasportatore che raccoglie e movimentata i frammenti di canapulo. Il nastro trasporta le fibre in un serbatoio dove viene estratto e stoccato in big bag.

1.3.4 La normativa

In Europa sono circa settanta le varietà di canapa riconosciute e regolarmente coltivate. In Italia l'utilizzo della canapa (Canapa Sativa L.) è sottoposta ad un duplice regime normativo: dalla Legge 242 del 2 dicembre 2016 approvando la legge “Disposizioni per la promozione della coltivazione e della filiera agroindustriale della canapa” per la coltivazione della canapa (a gennaio del 2017 è entrata ufficialmente in vigore). La legge si applica unicamente alle varietà ammesse nel Catalogo comune delle Varietà di specie delle piante agricole ottenute tramite sementi certificate. In una nota del 2019, il centro studi della Camera dei deputati individua le norme comunitarie per la regolamentazione della coltivazione della canapa, nel quale viene esplicitato che la canapa coltivabile è la canapa sativa L. che possiede percentuali di THC ⁴¹ al di sotto dello 0,2% e non necessita di particolari concessioni poiché contribuisce alla riduzione dell'impatto ambientale. Inoltre, gli Stati membri devono controllare il 30% delle superfici coltivate a scopo industriale e l'agricoltore possiede una sorta di tutela qualora, dopo i controlli, il THC rilevato fosse maggiore di 0,2% ma inferiore allo 0,6%. Per l'altro verso, qualsiasi varietà di canapa, indipendentemente dal suo tenore di THC, quanto a fiori, foglie, oli e resine, è classificata come pianta da droga dal Testo Unico Stupefacenti (DPR 309/1990, a eccezione “*della canapa coltivata esclusivamente per la produzione di fibre o per altri usi industriali consentiti dalla normativa dell'Unione europea*” art.14).⁴²

⁴¹ Il delta-9-tetraidrocannabinolo (chiamato appunto THC) è uno dei maggiori principi attivi presenti nei fiori della canapa, responsabile dell'effetto psicotropo quando viene ingerita, fumata o inalata

⁴² **Federcanapa.it**, 28 marzo 2023

1.4 La produzione del biocomposito

La produzione del calce-canapa si riconduce principalmente alla miscelazione dei materiali grazie al quale si possono ottenere diverse tipologie di prodotti atti a svolgere una specifica funzione. Una volta determinate la tipologia di calce e la tipologia di canapulo da utilizzare allo scopo specifico avviene la miscelazione: tramite miscelatore orizzontale o betoniera con applicazione manuale o tramite l'applicazione diretta con i macchinari che hanno predisposta questa funzione. La miscela del biocomposito può avvenire sia in cantiere che in stabilimento e poi trasportata in loco, i blocchi sono invece prodotti negli stabilimenti e i quantitativi di calce utilizzati in questo caso sono superiori alla canapa. Nell'applicazione manuale è possibile miscelare in principio acqua e calce e successivamente aggiungere il canapulo, oppure prima acqua e canapulo e dopo la calce. La classica betoniera viene utilizzata quando lo spazio in cantiere è limitato, il miscelatore orizzontale ha una capacità di carico maggiore e produce una miscela migliore, il miscelatore a vite è invece da preferirsi nell'applicazione di intonaci in quanto produce una miscela più uniforme. Solitamente il canapulo viene bagnato con una parte di acqua successivamente viene aggiunto il legante ed il resto dell'acqua in modo tale da formare uno strato uniforme di calce attorno ad ogni singolo pezzo di canapa, per ottenere un composto uniforme ed evitare la presenza di grumi nel composto è necessario seguire attentamente quest'operazione. Tra le applicazioni tramite l'utilizzo di macchinari la più utilizzata è la tecnica "a spruzzo" che consente una miscelazione all'interno del macchinario oltre alla possibilità di gettarlo in opera per la realizzazione di massetti, muri, isolamenti ed intonaci. Alcuni accorgimenti generali per la preparazione della miscela prevedono che:

- Il composto risulti umido e non bagnato prima dell'applicazione
- Variare la quantità d'acqua in relazione alla temperatura e all'umidità dell'aria
- Testare il corretto contenuto d'acqua stringendo una manciata di composto e verificando che si espanda leggermente senza né rimanere compatto né sgretolarsi
- Variare il contenuto d'acqua in relazione al legante usato
- Risciacquare i macchinari una volta terminata la miscelazione per evitare la formazione di grumi.⁴³

Di seguito si riportano per esempio i dosaggi presenti nelle *"Règles professionnelles d'exécution d'Ouvrage en Béton de Chanvre"* utilizzati e studiati dalle aziende produttrici e dai centri di ricerca francesi. Nella tabella sottostante (Figura 1.22) sono quindi indicate le proporzioni di canapulo Chanvribat e calce a base di calce aerea (75%), calce idraulica (15%) e pozzolana (10%); per diverse miscele è necessario far riferimento alle aziende produttrici dei materiali.

	Canapulo (Kg)	Calce (Kg)	Acqua (Kg)
Intonaci	1	8	5
Murature	1	2.2	3.5
Solai	1	2.75	5
Coperture	1	1	2

Figura 1.22: Dosaggi di riferimento. Fonte: *"Règles professionnelles d'exécution d'Ouvrage en Béton de Chanvre"* ⁴⁴

⁴³ **Colombo C, Ruggieri O.**, *Edilizia a basso impatto ambientale: Analisi del ciclo di vita di materiali naturali a base di calce canapulo*, Politecnico di Milano, Facoltà di Ingegneria per l'Ambiente e il territorio, a.a. 2011/2012, Milano

⁴⁴ **Ponzoni L, Sorek Y**, *"Coltivare l'architettura sostenibile"*

2. CARATTERISTICHE E PROPRIETÀ DEL BIOCOMPOSITO

2.1 Le proprietà termiche

Le caratteristiche termiche del biocomposito calce-canapa variano in base al rapporto calce/canapulo ed al grado di compattazione durante la messa in opera. In generale si può affermare che più la densità è minore più il materiale risulta essere un miglior isolante termico. Alcuni fattori che definiscono le caratteristiche termiche sono: l'inerzia termica (a sua volta correlabile al calore specifico), la trasmittanza e la conducibilità termica. Queste caratteristiche assieme conferiscono benessere abitativo mitigando le variazioni di temperatura esterna e rendendo stabile quella interna.⁴⁵ L'inerzia termica è la capacità di un materiale di trattenere energia calorifica e rilasciarla nel tempo. Il parametro che determina questa caratteristica è il calore specifico; nella tabella sottostante (Figura 2.1) è possibile confrontare i valori indicativi, in termini di calore specifico (c_s) di alcuni materiali, tra i quali la canapa, che risulta essere molto elevato ($c_s \approx 1700$ J/kgK) e del calce-canapa compreso tra i 1200 J/kgK ed i 1860 J/kgK circa (variabile in base alla composizione della miscela). All'interno delle abitazioni realizzate con il biocomposito, la regolazione della temperatura avviene in modo "passivo" riducendo l'impatto ambientale. Alcuni studi mostrano come la giunzione di un muro di tamponamento in blocchi di calce-canapa, anziché in blocchi di cemento, consenta di ottenere un'ulteriore riduzione della perdita di calore attraverso la giunzione, e perciò meno dispersione termica in punti critici come per esempio i serramenti.

⁴⁵ Przemysław Brzyski, Grzegorz Łagód and Zbigniew Suchorab, *Properties of a thermal-insulating wall material based on hemp shives and lime binder*, AIP Conference Proceedings 2170, 020004, 05 Novembre 2019

CALORE SPECIFICO J/kgK	
MATERIALI	J/kgK
CANAPULO	1700
SUGHERO	1800
AEROGEL	1030
TERMOINTONACO LATERLITE a base di calce idraulica naturale NHL3.5	1000
TERMOINTONACO a base di calce aerea, variabile in base alla composizione	800-1200
POLISTIRENE ESPANSO SINTERIZZATO	1210
CELLULOSA	2100
PANNELLO IN LANA DI ROCCIA FLUMROC ECCO	870
LANA DI VETRO	1030
CALCE-CANAPA	1200-1860

Figura 2.1: calore specifico indicativo di alcuni materiali isolanti e del biocomposito di calce-canapa, prodotta dall'autore

Un altro fattore è la trasmittanza termica (U) che misura il flusso di calore (trasmesso per conduzione, convezione e irraggiamento) che attraversa una superficie di un metro quadro a causa di una differenza di temperatura di un grado tra interno e l'esterno.⁴⁶ Alcuni riferimenti indicativi⁴⁷ di trasmittanza di una parete in blocchi di calce-canapa sono di $0.3 \text{ W/m}^2\text{K}$ per murature di 300 mm, $0.22 \text{ W/m}^2\text{K}$ per murature di 400 mm e $0.18 \text{ W/m}^2\text{K}$ per murature di 500 mm. Quando si parla di isolamento termico, si parla anche di efficientamento energetico, ed uno dei parametri principali è la conducibilità termica⁴⁸ (λ). Più λ è basso maggiori sono le capacità teoriche isolanti. I valori di λ del conglomerato di calce-canapa sono variabili a seconda delle percentuali di calce e di canapulo presenti (circa $0.050\text{-}0.065 \text{ W/mK}$), tenendo conto che quello della canapa è di circa 0.039 W/mK , mentre un tipico valore della calce è

⁴⁶ **Matteo Gastaldi, Luca Bertolini**, *Introduzione ai materiali per l'architettura*, De Agostini Scuola SpA, Novara, 2011

⁴⁷ **Marco Adriano Perletti**, *Costruire sostenibile con la canapa*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna (RN), 2020

⁴⁸ La conducibilità termica, detta anche conduttività termica, misura l'attitudine di una sostanza a trasmettere il calore attraverso la conduzione termica.

di 0.7 W/mK. Se si considera la canapa, il λ risulta maggiore di altri materiali quando si considera un regime stazionario in ambiente asciutto e secondo norma specifica (Figura 2.2).

CONDUCIBILITÀ TERMICA λ	
MATERIALI	λ (W/mK)
GESSO	0.3
GRASSELLO DI CALCE/CALCE AEREA	0.7
CALCE IDRAULICA	0.9
CEMENTO	1.1
POROTHERM BIO PLAN blocco con foratura < 45% e densità media di 930 kg/mc	0.14
SUGHERO	0.04
AEROGEL	0.015
POLISTIRENE ESPANSO SINTERIZZATO	0.031
CELLULOSA	0.037
PANNELLO IN LANA DI ROCCIA FLUMROC ECCO	0.036
LANA DI VETRO	0.038
CANAPULO	0.039
CALCE-CANAPA	0.05-0.065

Figura 2.2: conducibilità termiche di diversi materiali a confronto, tabella prodotta dall'autore

Nella Figura 2.2 sono riportate le conducibilità termiche di diversi materiali a confronto (prelevati da schede tecniche e testi di riferimento citati nella bibliografia), tra i quali anche differenti tipologie di calce ed il canapulo. In fondo si riporta la conducibilità termica del biocomposito calce-canapa in un range di valori in quanto dipende dal tipo di miscela composta. Nella Figura 2.3 sottostante si evidenzia infatti la conducibilità termica di diverse composizioni di calce-canapa variabili, in particolare, per il tipo di calce impiegata ed il tipo di applicazione.

CONDUCIBILITÀ TERMICA (λ) DEL BIOCOMPOSITO DI CALCE-CANAPA A CONFRONTO		
APPLICAZIONI	COMPOSIZIONE	λ (W/mK)
MATERIALE AGGREGATO	calce aerea e canapulo	0.05
MALTE	calce idraulica naturale, canapulo ed eventuali additivi naturali	0.15
INTONACI DI FINITURA	grassello di calce, polvere di canapulo, polvere di marmo, olio di canapa e cellulosa	0.16
	calce aerea e/o calce idrata e/o calce idraulica, canapulo ed eventuale aggregato carbonatico e/o additivi naturali e/o sabbia calcarea macinata	0.13-0.30
INTONACI DEUMIDIFICANTI E TERMOISOLANTI	calce aerea e/o calce idraulica naturale, canapulo ed eventuali leganti idraulici naturali e/o additivi naturali	0.052-0.088
CONGLOMERATI PER STRUTTURE ORIZZONTALI/INCLINATE	calce aerea e/o calce idrata e/o calce idraulica naturale, canapulo, eventuali additivi naturali	0.06-0.078
CONGLOMERATI PER STRUTTURE VERTICALI	calce aerea o calce idrata, canapulo ed eventuali additivi naturali	0.05-0.065
BLOCCHI	calce idraulica naturale o calce idrata dolomitica, canapulo ed eventuale legante secondario	0.065-0.08

Figura 2.3: confronto conducibilità termica di differenti tipologie di calce-canapa utilizzate per diverse applicazioni, tabella prodotta dall'autore

Alcune delle prime case costruite in calce-canapa sono state realizzate in Francia in ambienti molto umidi. Secondo Gilberto Barcella, esperto in costruzioni in calce-canapa, gli abitanti di queste case descrivono un comfort abitativo eccellente e bollette energetiche azzerate, il che incuriosisce i ricercatori scientifici poiché il materiale possiede una densità tra i 300 ai 500 kg/m³ ed il λ può anche superare i 0.065 W/mK in base alla composizione. La realtà dove viviamo è infatti dinamica e per valutare correttamente le prestazioni del biocomposito, bisogna tenere in considerazione anche altri fattori come l'umidità presente nell'aria, quella presente nella casa e quella nei materiali. Questa tipologia di sperimentazione è stata eseguita da un ricercatore dell'Università di Bath, Mike Lawrence, che ha studiato il comportamento termo-igrometrico di un edificio in calce-canapa confrontandolo con quello di un edificio standard. Molti testi riportano tale studio, considerandolo, ad oggi, una delle più importanti ricerche eseguite sul calce-canapa. L'edificio realizzato con il biocomposito, denominato "HemPod", venne confrontato con un edificio a Liskeard

chiamato “l’ufficio”, realizzato con una struttura di legno isolato con lana minerale, rivestito con pannelli OSB da 12 mm e con un rivestimento esterno in legno⁴⁹. Nel 2011 vennero monitorate la temperatura e l’umidità interna ed esterna degli edifici, al variare del clima. La temperatura nell’HemPod è rimasta stabile nel corso dei mesi: mediamente, circa 4 °C in più rispetto alle condizioni esterne e con un’escursione termica minima (figura 2.4). Nell’ufficio invece, l’escursione della temperatura risultava essere maggiore, ed i valori erano particolarmente sensibili al variare dell’umidità e della temperatura esterna (figura 2.5). Al termine della sperimentazione si constatò che il calce-canapa era in realtà molto più prestazionale di quanto si credesse. I ricercatori hanno studiato questo andamento trovando le motivazioni nel fenomeno di evaporazione e condensazione all’interno dei pori del materiale (approfondito nel paragrafo successivo).^{50,51}

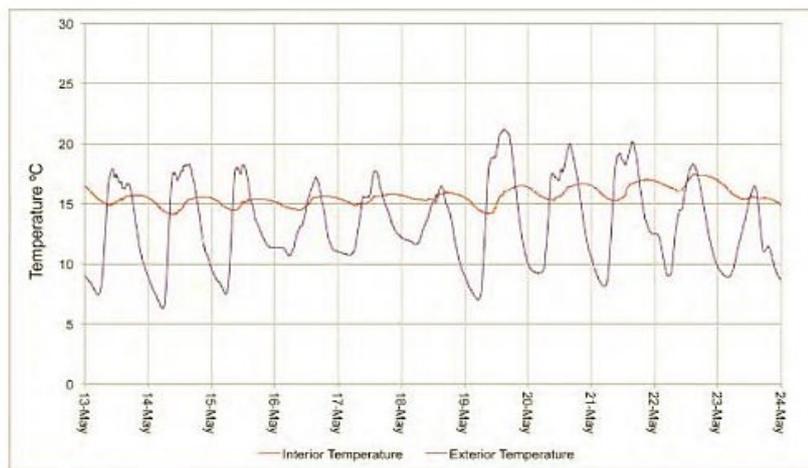


Figura 2.4: temperatura interna (arancio) ed esterna (viola) relative all’HemPod ⁵²

⁴⁹ **Dr Mike Lawrence, Dr Enrico Fodde, Dr Kevin Paine, Prof. Pete Walker**, *Hygrothermal performance of an experimental hemp-lime building*, BRE Centre for Innovative Construction Materials, University of Bath, Bath, BA2 7AY, United Kingdom, 2012

⁵⁰ **Gilberto Barcella**, *Canapa e calce. Tra tradizione e innovazione dalla bioedilizia alla neoedilizia*, Dario Flaccovio Editore s.r.l., maggio 2021

⁵¹ **Dr Mike Lawrence, Dr Enrico Fodde, Dr Kevin Paine, Prof. Pete Walker**, *Hygrothermal performance of an experimental hemp-lime building*, BRE Centre for Innovative Construction Materials, University of Bath, Bath, BA2 7AY, United Kingdom, 2012

⁵² **Dr Mike Lawrence, Dr Enrico Fodde, Dr Kevin Paine, Prof. Pete Walker**, *Hygrothermal performance of an experimental hemp-lime building*, BRE Centre for Innovative Construction Materials, University of Bath, Bath, BA2 7AY, United Kingdom, 2012

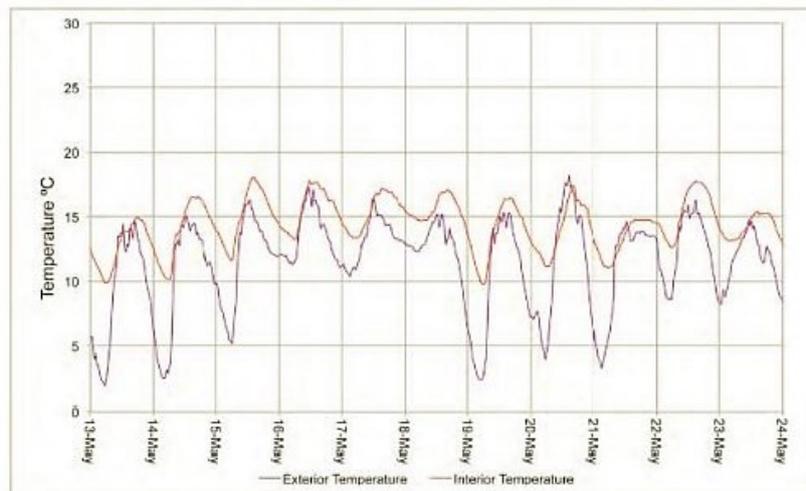


Figura 2.5: temperatura interna (arancio) ed esterna (viola) relative all'ufficio ⁵³

Un altro studio che ha valutato le caratteristiche termiche del biocomposito è stato eseguito da Paulien Strandberg-de Bruijn et al.⁵⁴ In questo studio è stato verificato l'utilizzo del biocomposito per migliorare l'efficienza energetica degli involucri di edifici storici in legno con facciata intonacata presenti in Svezia. Nel laboratorio di progettazione ed edilizia dell'Università di Lund sono state costruite due sezioni di parete in scala reale: una con intonaco tradizionale (80 mm) in calce e l'altra con intonaco di calce-canapa (90 mm). Il consumo di energia utilizzato per riscaldare gli ambienti è stato monitorato costantemente per un anno. Al termine degli studi, tenendo in considerazione che non era stata modificata la struttura, l'aspetto, i materiali e senza cambiare drasticamente le proprietà igriche, la parete in calce-canapa ha richiesto il 33% in meno di energia rispetto alla parete tradizionale.⁵⁵

⁵³ **Dr Mike Lawrence, Dr Enrico Fodde, Dr Kevin Paine, Prof. Pete Walker**, *Hygrothermal performance of an experimental hemp-lime building*, BRE Centre for Innovative Construction Materials, University of Bath, Bath, BA2 7AY, United Kingdom, 2012

⁵⁴ **Paulien Strandberg-de Bruijn, Anna Donarelli, Kristin Balksten**, *Full-scale Studies of Improving Energy Performance by Renovating Historic Swedish Timber Buildings with Hemp-lime*, Applied sciences, 2019

⁵⁵ **Paulien Strandberg-de Bruijn, Anna Donarelli, Kristin Balksten**, *Full-scale Studies of Improving Energy Performance by Renovating Historic Swedish Timber Buildings with Hemp-lime*, Applied sciences, 2019

2.2 La resistenza all'umidità

Un fattore determinante quando si prende in considerazione un materiale come il calce-canapa è la diffusione del vapore e la relativa resistenza all'umidità. Le costruzioni tradizionali sono aperte alla diffusione del vapore e generalmente funzionano in modo diverso dalle costruzioni moderne. Spesso, infatti, l'utilizzo di materiali moderni nelle costruzioni tradizionali può compromettere o danneggiare il materiale originale, poiché di solito sono a tenuta di diffusione. Il canapulo è molto permeabile per via della sua natura porosa e a livello microscopico (figura 2.6) si può notare la sua struttura capillare caratterizzata da pori interconnessi. È determinante conoscere la struttura dei pori del canapulo perché proprio questa caratteristica fisica conferisce la capacità di assorbire e trattenere l'umidità per poi rilasciarla lentamente a seconda delle condizioni climatiche circostanti.

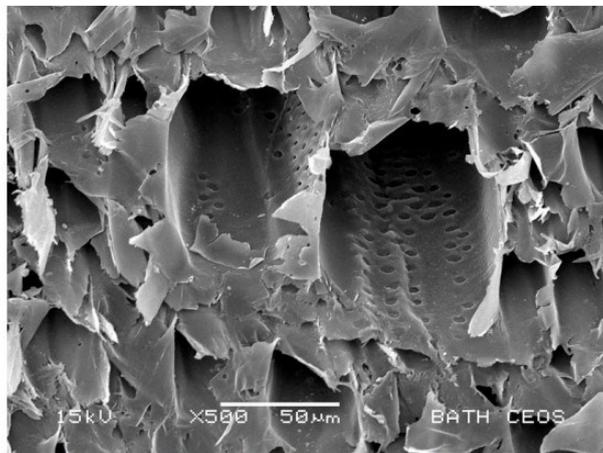


Figura 2.6: struttura interconnessa dei pori del canapulo⁵⁶

Infatti, a livello microscopico si può notare come al variare della temperatura sulla superficie della muratura, le molecole d'acqua presenti

⁵⁶ Dr Mike Lawrence, Dr Enrico Fodde, Dr Kevin Paine, Prof. Pete Walker, *Hygrothermal performance of an experimental hemp-lime building*, BRE Centre for Innovative Construction Materials, University of Bath, Bath, BA2 7AY, United Kingdom, 2012

nelle porosità del materiale si spostino da una cella all'altra trovando spazi più piccoli o più grandi in modo casuale. Sia la temperatura che la pressione influenzano il movimento dell'acqua, e la differenza nella dimensione delle celle genera un cambio di pressione che fa spostare l'acqua (figura 2.7). Le molecole evaporano o condensano a seconda del cambiamento e caricano e scaricano il calore acquisito in superficie.⁵⁷

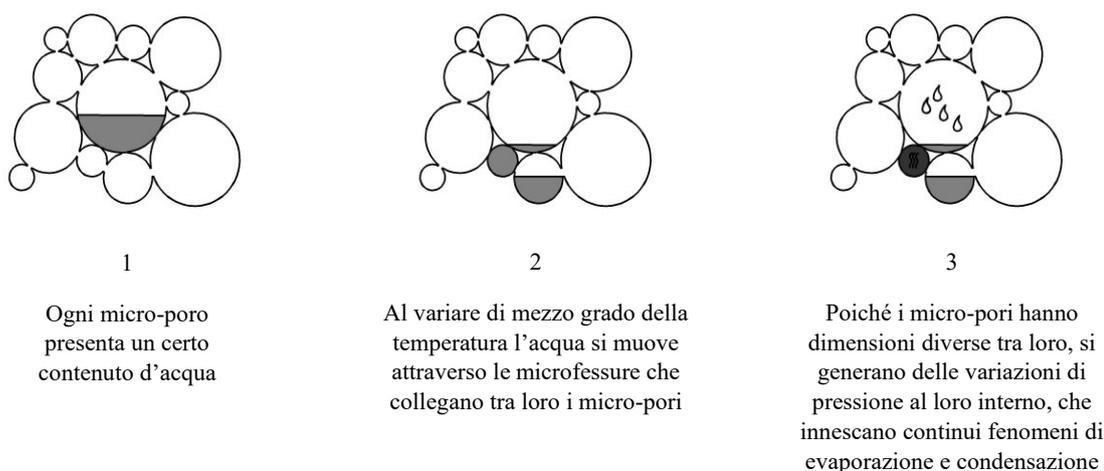


Figura 2.7: Rappresentazione del fenomeno di condensazione ed evaporazione delle molecole d'acqua all'interno dei micro-pori del canapulo al variare della temperatura superficiale, rielaborazione dell'autore⁵⁸

Questa caratteristica elimina la possibilità di un degrado biologico (formazione di muffe, funghi, alghe e batteri) e grazie all'alcalinità della calce il vapore acqueo trattenuto e successivamente rilasciato viene sanificato; inoltre, riduce l'umidità all'interno dell'abitazione e la rende più salubre. In questo modo viene ridotto, inoltre, l'utilizzo di impianti di condizionamento e di ventilazione con conseguente risparmio energetico.⁵⁹ A sostegno di quest'argomentazione è altresì importante citare nuovamente il contributo ottenuto dallo studio di Mike Lawrence

⁵⁷ **Gilberto Barcella**, Canapa e calce. Tra tradizione e innovazione dalla bioedilizia alla neoedilizia, Dario Flaccovio Editore s.r.l., maggio 2021

⁵⁸ **Gilberto Barcella**, Canapa e calce. Tra tradizione e innovazione dalla bioedilizia alla neoedilizia, Dario Flaccovio Editore s.r.l., maggio 2021

⁵⁹ **Caiolo E.**, "L'integrazione di materiali compositi a base di canapa e calce nell'edilizia nepalese", Tesi di laurea magistrale in Architettura per il Progetto Sostenibile, Politecnico di Torino, Relatore Arch. Bosia., 2018/2019

presso l'Università di Bath. I risultati mostrano come l'umidità relativa interna all'HemPod rimane costante tra il 55% ed il 65% (figura 2.8), al contrario delle escursioni presenti nell'Ufficio (edificio di riferimento) e dell'umidità relativa esterna che variano dal 40% al 90% (figura 2.9).

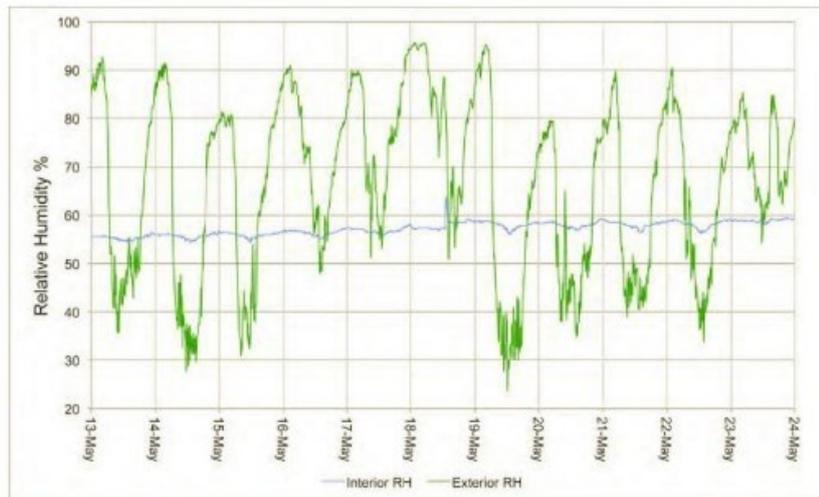


Figura 2.8: umidità relativa interna (azzurro) ed esterna (verde) dell'HemPod ⁶⁰

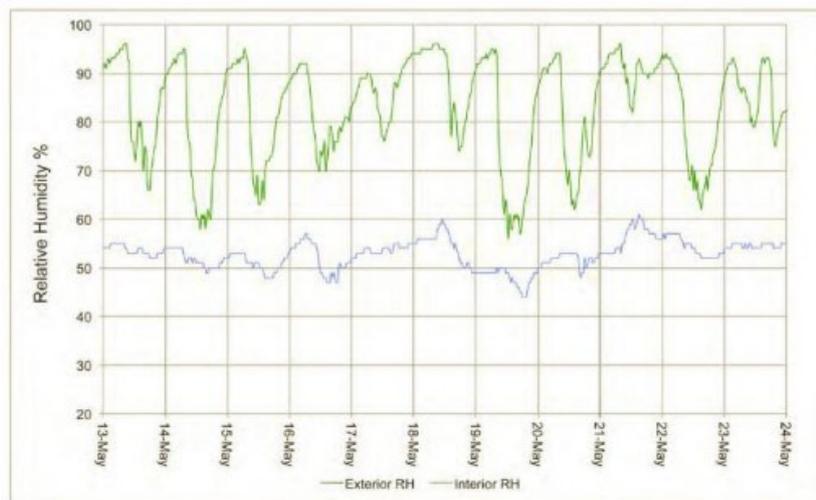


Figura 2.9: umidità relativa interna (azzurro) ed esterna (verde) "dell'Ufficio" ⁶¹

Mike Lawrence definì infatti il biocomposito di calce-canapa un materiale *vapour active*, ovvero in grado di assorbire e rilasciare vapore

⁶⁰ **Dr Mike Lawrence, Dr Enrico Fodde, Dr Kevin Paine, Prof. Pete Walker, *Hygrothermal performance of an experimental hemp-lime building*, BRE Centre for Innovative Construction Materials, University of Bath, Bath, BA2 7AY, United Kingdom, 2012**

⁶¹ **Dr Mike Lawrence, Dr Enrico Fodde, Dr Kevin Paine, Prof. Pete Walker, *Hygrothermal performance of an experimental hemp-lime building*, BRE Centre for Innovative Construction Materials, University of Bath, Bath, BA2 7AY, United Kingdom, 2012**

acqueo mitigando le variazioni di umidità e di temperatura dell'aria. Lo studio rivelò che la canapa, essendo un materiale molto igroscopico⁶², consente di ottenere delle condizioni climatiche stabili e confortevoli all'interno degli edifici comportandosi come un "volano igrometrico". Questo comportamento è stato anche rilevato dagli applicatori del biocomposito: essi sostengono che la composizione della miscela varia a seconda del luogo in cui si sta eseguendo la posa, poiché il canapulo assorbe l'acqua anche dall'umidità presente nell'aria. La canapa, infatti, assorbe grandi quantità d'acqua, circa il 325% del suo peso in 24 ore, fattore che può compromettere l'idratazione.⁶³ Ad esempio, gli applicatori riportano che in un luogo come Venezia si utilizzino 8 litri di acqua in meno su 20 kg di biocomposito, rispetto a quelli necessari in Trentino. Nel definire il comfort abitativo, è importante tenere in considerazione il fattore "umidità" tanto quanto la "temperatura" poiché più la prima è alta, più i cambi di temperatura vengono percepiti dalle persone. Questo accade perché anche i pori della nostra pelle entrano in contatto con l'umidità presente nell'aria e l'acqua essendo un buon conduttore termico (rispetto ai comuni materiali per l'isolamento) funziona da amplificatore della temperatura. L'utilizzo del biocomposito di calce-canapa permette quindi di regolare l'umidità interna di un muro grazie alla canapa che rilascia l'acqua in funzione dell'umidità relativa dell'aria. Pertanto, se l'umidità relativa è alta, la canapa assorbe molecole d'acqua (allo stato gassoso) abbassandola e viceversa.⁶⁴ Inoltre, se si utilizza la calce aerea si ottengono maggiori prestazioni dal punto di vista

⁶² L'igroscopia è la capacità di una sostanza di assorbire prontamente le molecole d'acqua presenti nell'ambiente circostante.

⁶³ **R. Walker, S. Pavia, R. Mitchell**, *Mechanical properties and durability of hemp-lime concretes*, Construction and Building Materials, 2014, Elsevier Ltd

⁶⁴ L'acqua agisce secondo il principio dei vasi comunicanti. I vasi comunicanti in un edificio sono: l'ambiente esterno, l'aria interna e tutti i materiali a contatto con essa. L'umidità si trasferisce in base allo spazio che trova, con una velocità inversamente proporzionale alla capacità igroscopica del "vaso" in cui entra. È importante tenerne conto quando si è di fronte ad una situazione patologica per comprendere da dove proviene l'acqua e come si sposta.

igroscopico in quanto risulta essere più porosa, permeabile e traspirante di quella idraulica.⁶⁵

In generale, bisogna considerare che la natura idrofila del composito calce-canapa e l'elevata capacità di assorbire acqua possono compromettere le capacità meccaniche ed isolanti e la durabilità. Perciò per la zoccolatura spesso viene utilizzato un rivestimento esterno come la pietra in modo tale da proteggere il calce-canapa, mentre il primo strato viene solitamente realizzato con materiali che impediscono la risalita dell'acqua come per esempio il sughero. Esistono anche altri metodi per migliorare questa criticità del calce-canapa, ed alcuni sono riportati nei paragrafi successivi.

⁶⁵ **Gilberto Barcella**, *Canapa e calce. Tra tradizione e innovazione dalla bioedilizia alla neoedilizia*, Dario Flaccovio Editore s.r.l., maggio 2021

2.3 La resistenza meccanica

Il biocomposito di calce-canapa è un materiale che non è adatto ad assolvere a funzioni strutturali, essendo estremamente poroso ed avendo una resistenza a compressione ed un modulo di elasticità generalmente bassi. Alcuni test dimostrano come il materiale soggetto a compressione non giunga a rottura ma si deformi recuperando parzialmente la forma originale quando viene rimosso il carico. Il biocomposito possiede una resistenza alla compressione che varia da 0.25 a 3.5 MPa⁶⁶ a seconda del legante utilizzato e della densità del composto. Secondo Bouloc et al.⁶⁷ una bassa resistenza a compressione è attribuita alla natura duttile delle particelle della canapa ed alla loro disposizione disordinata. È infatti possibile aumentare la resistenza del biocomposito compattando meglio il materiale e rendendolo più denso o inserendo aggregati di canapulo di diverse dimensioni in modo tale da massimizzare il fattore di impacchettamento e ridurre i vuoti.⁶⁸ Un altro metodo per aumentare la resistenza meccanica del biocomposito è attraverso trattamenti chimici che comportano l'aggiunta di etere di cellulosa. Questa sperimentazione condotta da V. Nozahic et al. ha comportato il miglioramento delle proprietà meccaniche fino a tre volte rispetto al materiale non additivato.⁶⁹ Quando la miscela viene applicata su muri di tamponamento conferisce una notevole rigidità e resistenza al taglio opponendosi alle azioni orizzontali esterne (come quelle del vento). Queste caratteristiche insieme al contributo che il biocomposito apporta al telaio strutturale ne

⁶⁶ **Salim Barbhuiya, Bibhuti Bhusan Das**, *A comprehensive review on the use of hemp in concrete*, Construction and Building Materials, available online 18 May 2022 0950-0618/© 2022 Elsevier Ltd. A

⁶⁷ **Bouloc P, Allegret S, Arnaud L.**, *Le chanvre industriel: production et utilisations*. France: France Agricole; 2006.

⁶⁸ **M.P. Sáez-Pérez, M. Brümmer, J.A. Durán-Suárez**, *A review of the factors affecting the properties and performance of hemp aggregate concretes*, Journal of Building Engineering 31, 2020

⁶⁹ **V. Nozahic, S. Amziane**, *Vers des betons de chanvre a hautes performances mecanique*. Prix Jeunes Chercheurs "Rene Houpert", Chambéry, 2012.

consentono anche l'utilizzo per progettazioni antisismiche. Bisogna considerare che nel caso di materiali biocompositi come il calce-canapa, è possibile definire i giusti quantitativi di fibre e legante da utilizzare in base alla sua specifica applicazione. Per esempio: se si vuole utilizzare la miscela per isolare un tetto sarà opportuno scegliere una miscela dal minor contenuto di legante in favore delle fibre in modo tale da migliorare le prestazioni termiche e non appesantire la struttura; al contrario, nella realizzazione di muri o solette, dove è necessario prevedere i carichi delle persone e degli oggetti, si prediligerà un composto con un contenuto di legante maggiore. Alcuni test hanno dimostrato che l'aggiunta di materiale pozzolanico come il metacaolino (la forma anidra ed amorfa del caolino, ottenuta per calcinazione a circa 650 °C) o la loppa d'altoforno⁷⁰ al legante permette di incrementare la resistenza a compressione del calce-canapa. L'argilla calcinata (metacaolino) reagisce con la calce durante il processo di idratazione, dando origine ad una reazione pozzolanica, formando silicati ed alluminati di calcio idrati che apportano un aumento della resistenza. Dopo un'analisi SEM (scanning electron microscope) eseguita nel testo di Walker R. et al.⁷¹, il calcestruzzo costituito da un legante a base di calce, pozzolana e metilcellulosa (additivo ritardante d'essiccazione), presentava carbonati nell'interfaccia (a causa della presenza di canapa e dei suoi componenti come, per esempio, gli zuccheri⁷²) ed un aumento di idrati pozzolanici nella pasta compatta. Confrontando differenti tipologie di leganti, a distanza di un anno, si osserva che l'idraulicità dei composti a base di calce idraulica e cemento aumenta la resistenza iniziale, ma con l'invecchiamento, fattori come la carbonatazione contribuiscono alla

⁷⁰ GGBS, ovvero ground granulated blast furnace, in IT loppa d'altoforno

⁷¹ **R. Walker, S. Pavia, R. Mitchell**, *Mechanical properties and durability of hemp-lime concretes*, Construction and Building Materials, 2014, Elsevier Ltd

⁷² **Fabien Delhomme, Elodie Prud'homme, Clara Julliot, Tina Guillot, Sofiane Amziane, Sandrine Marceau**, *Effect of hemp on cement hydration: Experimental characterization of the interfacial transition zone*, Results in Chemistry 4 (2022) 100440, Elsevier Ltd

resistenza, conferendo ai composti a base di calce e materiali pozzolanici resistenze meccaniche simili. Nella sperimentazione eseguita da Cerezo V.⁷³ si indaga infatti come l'elevata capacità della canapa di assorbire acqua e trattenerla possa interferire con l'idratazione del legante e con le relative resistenze meccaniche. Nel caso del composto contenete cemento si presentava una disomogeneità di idratazione/indurimento tra gli strati più superficiali e quelli più interni evidenziando una carenza d'acqua. Successivamente è stato aumentato il quantitativo d'acqua della miscela per consentire l'idratazione del cemento, ma l'acqua trattenuta dal canapulo non veniva più drenata dato che il cemento ne possedeva già abbastanza. Di conseguenza, l'essiccamento si è rallentato al punto che dopo 18 mesi il materiale risultava essere ancora umido e le proprietà meccaniche corrispondevano a quelle del composto a base di calce e canapa raggiunte dopo poche settimane.⁷⁴ Nello studio di Wang Shanwei et al.⁷⁵ sono confrontate diverse composizioni di malte a base di calce idrata, canapa e riso glutinoso per il restauro. In questo studio la malta con una parziale sostituzione della calce idrata con il metacaolino ha ottenuto una resistenza a compressione di 1.55 MPa a differenza di quella priva di metacaolino di 1 MPa, ed una resistenza a flessione di 0.55 MPa rispetto ad uno 0.43 MPa, confermando così il ruolo del metacaolino nel conferire un (lieve) aumento delle resistenze meccaniche. Nel caso del calce-canapa costituito da calce e pozzolana, la metilcellulosa può portare anche ad un miglioramento della resistenza iniziale: e ciò è attribuibile a una maggiore quantità di acqua di impasto trattenuta nel

⁷³ **Cerezo Véronique**, *Propriétés mécaniques, thermiques et acoustiques d'un matériau à base de particules végétales: approche expérimentale et modélisation théorique*, Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, 2005

⁷⁴ **Cerezo Véronique**, *Propriétés mécaniques, thermiques et acoustiques d'un matériau à base de particules végétales: approche expérimentale et modélisation théorique*, Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, 2005

⁷⁵ **Wang Shanwei, Wang Sheliang, Lu Zhe, Meng Zhaobo, Li Binbin, Zhao Nan**, *Revamp of the sticky rice-lime binder with metakaolin and natural fiber for restoration: Properties and characteristics*, Journal of cultural Heritage, 1 Settembre 2022

legante, con conseguente miglioramento dell'idratazione. Per quanto riguarda la resistenza a flessione, i calcestruzzi con leganti a base di calce e pozzolana raggiungono resistenze inferiori rispetto a quelli costituiti dai leganti di calce idraulica e cemento; ma gli elementi di contenimento dell'acqua migliorano anche in questo caso la resistenza a flessione dei calcestruzzi a base di calce e pozzolana.⁷⁶

⁷⁶ **R. Walker, S. Pavia, R. Mitchell**, *Mechanical properties and durability of hemp-lime concretes*, Construction and Building Materials, 2014, Elsevier Ltd

2.4 Le proprietà acustiche

I composti di calce-canapa sono costituiti da un'elevata porosità, compresa tra il 70-80%. I pori possono avere diverse dimensioni e possono cambiare in base alla composizione del materiale, le proporzioni, i metodi di miscelazione, di produzione e le condizioni di indurimento e sono così classificati: i macropori (pori interparticellari superiori a 0.05mm) tra le particelle del truciolo della canapa, i mesopori (intraparticellari compresi tra 0.002 e 0.05 mm) all'interno del truciolo di canapa e del legante e i micropori del legante (inferiori a 0.002 mm). Le motivazioni che rendono il calce-canapa un materiale dalle ottime proprietà termiche sono sostanzialmente le stesse che conferiscono al biocomposito un ottimo assorbimento acustico, pur tenendo presente che la porosità ideale di un materiale per l'isolamento termico è diversa da quella relativa all'assorbimento acustico (porosità chiusa e aperta rispettivamente). Il calce-canapa è caratterizzato da un coefficiente di assorbimento compreso tra 0.24 e 0.53: minore è la densità, maggiori sono le proprietà di assorbimento acustico. Questo rapporto è stato inizialmente studiato da Cerezo⁷⁷ e successivamente una ricerca condotta dal gruppo di Glé, Gourand e Arnaud ha studiato i parametri di fabbricazione, tra cui la densità, la distribuzione granulometrica, il tipo di legante ed il contenuto d'acqua sulle proprietà acustiche del biocomposito con leganti idraulici e cementizi.⁷⁸ Anche in questo caso, le prestazioni acustiche, variano in base al rapporto calce/canapulo. Gli studi effettuati sull'assorbimento acustico delle pareti costruite con il biocomposito ed intonacate con la miscela di calce-canapa, suggeriscono

⁷⁷ V. Cerezo, "Propriétés mécaniques, thermiques et acoustiques d'un matériau à base de particules végétales: approche expérimentale et modélisation théorique." Ecole doctorale MEGA, Lyon, 2005.

⁷⁸ P. Glé, E. Gourdon, L. Arnaud, K.-V. Horoshenkov, and A. Khan, "The effect of 584 particle shape and size distribution on the acoustical properties of mixtures of 585 hemp particles," J. Acoust. Soc. Am., Dec. 2013.

che la composizione chimica del legante utilizzato abbia una grande influenza sul risultato. I test eseguiti hanno evidenziato una maggior capacità di assorbimento acustico nei leganti costituiti da calce-canapa con aggiunta di materiale pozzolanico come il metacaolino e/o la loppa d’altoforno, a discapito di quelli costituiti da leganti idraulici. Questo è principalmente dovuto alla porosità ed alla densità del legante che nel caso dei leganti idraulici risultano essere sfavorevoli (ovvero poco porosi e di maggior densità) per un buon assorbimento acustico.⁷⁹

⁷⁹ **Kinnane, O., Reilly, A., Grimes, J., Pavia, S., & Walker, R,** “*Acoustic absorption of hemp-lime construction*”, 2016, Construction and Building Materials

2.5 La resistenza al fuoco

Il canapulo, ricco di silice, quando entra in contatto con la calce subisce un processo di mineralizzazione e diventa particolarmente resistente al fuoco. La calce durante un incendio viene sottoposta a calcinazione ed assorbe energia termica ritardando il riscaldamento del materiale, inoltre anche la struttura fibrosa della canapa agisce come un ritardante delle fiamme. Viene effettuata la valutazione attraverso le prove REI, vigilando per quanto tempo gli elementi sono in grado di mantenere la loro funzione quando sono esposti al fuoco. Il "*Centre Scientifique et Technique du Batiment*" ha eseguito un test su una parete realizzata in blocchi di biocomposito di 25 cm, dal quale si evince che il materiale ha resistito fino a 120 minuti senza rilasciare sostanze nocive. La maggior parte dei produttori italiani classifica la miscela alla categoria A2 s1 d0⁸⁰ secondo la norma UNI 13501-1 “materiali non combustibili la cui applicazione evita il verificarsi di fenomeni di autoaccensione - elemento strutturale che può emettere una quantità estremamente limitata di gas di combustione”.

⁸⁰ **Marco Adriano Perletti**, *Costruire sostenibile con la canapa*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna (RN), 2020

2.6 Durabilità delle fibre in mezzo alcalino: problematiche e soluzioni

La difficoltà principale nell'utilizzo delle fibre di canapa nel settore delle costruzioni è principalmente dovuta alle caratteristiche chimiche ed alla struttura che risultano essere molto complesse. L'unità di base è costituita da catene polimeriche allineate e raccolte in microfibrille collegate tra loro da pectina, lignina ed emicellulosa.⁸¹ I legami a idrogeno tra i diversi componenti chimici sono responsabili della forza e della rigidità delle fibre. Le altre caratteristiche sono determinate dalle proprietà di ciascun componente. L'emicellulosa è responsabile della biodegradazione, del degrado termico delle fibre e dell'assorbimento dell'umidità: la lignina e la pectina sono responsabili del degrado UV delle fibre. I principali svantaggi delle fibre cellulosiche sono: l'alta sensibilità all'umidità che può portare al degrado chimico della struttura e l'attacco di microrganismi, generalmente a danno dei polisaccaridi (emicellulosa e cellulosa). L'utilizzo del legante idraulico è infatti limitato dalla durabilità delle fibre di canapulo in ambiente alcalino. Quando, infatti, viene esposto a queste condizioni, il biocomposito tende a deteriorarsi, portando all'infragilimento, che comporta importanti effetti sulla resistenza e sulla durabilità. Questo problema deriva da una combinazione di effetti di attacco alcalino e mineralizzazione dovuti alla migrazione dei prodotti di idratazione nel lume. Il deterioramento prodotto dall'infragilimento è stato investigato nella ricerca di Zerrouki et al.⁸². In essa, è stato sottoposto il biocomposito a cicli asciutto-bagnato

⁸¹ **M.P. Sáez-Pérez, M. Brümmer, J.A. Durán-Suárez,** *A review of the factors affecting the properties and performance of hemp aggregate concretes*, Journal of Building Engineering 31, 2020

⁸² **Redouane Zerrouki, Amar Benazzouk, Matthieu Courty, Haikel Ben Hamed,** *Potential use of matakaolin as a partial replacement of preformulated lime binder to improve durability of hemp concrete under cyclic wetting/drying aging*, Construction and Building Materials, Available online 9 April 2022 0950-0618/© 2022 Elsevier Ltd.

in ambiente alcalino e ne è stato analizzato il comportamento. L'infragilimento si manifesta attraverso le seguenti fasi:

1. comparsa di porosità nella zona interfacciale tra le particelle vegetali e la matrice del legante a causa del loro rigonfiamento e contrazione sotto l'effetto ciclico di bagnatura e asciugatura;
2. la migrazione dei componenti idrati disciolti nell'acqua attraverso la zona interfacciale e l'assorbimento di questi dalle particelle vegetali;
3. dopo l'evaporazione dell'acqua nella fase di asciugatura del ciclo, gli ioni Ca^{2+} liberi precipitano sulla superficie e poi si infiltrano nelle pareti cellulari e nella cavità del lume delle particelle vegetali, causandone la mineralizzazione.

Un altro fattore che influisce sulla durabilità dei componenti vegetali è legato alla maggior alcalinità della soluzione dei pori nei leganti idraulici ed in quelli idrati, causata principalmente dalla presenza di ioni OH^- nell'acqua interstiziale. L'acqua alcalina dei pori dissolve i costituenti di lignina, emicellulosa e cellulosa, inducendo così la degradazione di queste componenti. Per limitare questo processo sempre nello studio di Zerrouki et al.⁸³, sono state sperimentate due metodologie:

1. la modifica dei prodotti di idratazione nella matrice per mezzo di un legante supplementare in grado di ridurre o rimuovere i composti alcalini;

⁸³ Redouane Zerrouki, Amar Benazzouk, Matthieu Courty, Haikel Ben Hamed, *Potential use of matakaolin as a partial replacement of preformulated lime binder to improve durability of hemp concrete under cyclic wetting/drying aging*, Construction and Building Materials, Available online 9 April 2022 0950-0618/© 2022 Elsevier Ltd.

2. la modifica fisica e/o mineralogica delle componenti vegetali, attraverso un pretrattamento chimico/fisico che, oltre a fungere da barriera protettiva, migliora il legame interfacciale fibre-matrice.⁸⁴

La prima metodologia può essere a sua volta declinata in due strategie:

- 1a. l'aggiunta di materiali pozzolanici che favoriscano la trasformazione dell'idrossido di calcio in silicati di calcio idrati (C-S-H) riducendo così l'alcalinità associata alla calce idrata;
- 1b. la carbonatazione accelerata, che implica la mineralizzazione della calce idrata da parte della CO₂, con formazione di CaCO₃ contribuendo anche al miglioramento della resistenza meccanica.

Lo studio qui descritto ha analizzato il primo caso (1a), ovvero la durabilità e le prestazioni fisico-meccaniche – a seguito di cicli asciutto-bagnato – di biocompositi calce-canapa, nel caso in cui parte del legante (composto da calce aerea al 75%, calce idraulica al 10% e pozzolana al 15%) venga sostituito con il metacaolino⁸⁵. Sono state realizzate due serie di provini: la prima costituita da compositi realizzati con un legante commerciale a base di calce aerea ed un secondo con il 20% dello stesso legante sostituito da metacaolino. A seguito delle prove si evince un effetto positivo della reazione pozzolanica indotta dal metacaolino nell'aumentare la coesione della matrice, evidenziata da una minor perdita di massa ed una minore porosità aperta a seguito dei cicli asciutto-bagnato, e conseguentemente una maggior resistenza a compressione rispetto a quello senza sostituzioni. La differenza più elevata tra i campioni è stata riscontrata dal 25° ciclo nel quale la reazione pozzolanica tra il metacaolino addizionato e l'idrossido di

⁸⁴ Redouane Zerrouki, Amar Benazzouk, Matthieu Courty, Haikel Ben Hamed, *Potential use of metakaolin as a partial replacement of preformulated lime binder to improve durability of hemp concrete under cyclic wetting/drying aging*, Construction and Building Materials, Available online 9 April 2022 0950-0618/© 2022 Elsevier Ltd.

⁸⁵ Pozzolana artificiale ottenuta dalla calcinazione e dalla micronizzazione di argilla caolinitica

calcio produce silicati di calcio idrati (C-S-H) che riempiono i pori. Nella figura 2.10 viene mostrata la differenza tra il campione puro (e) ed additivato da metacaolino (f), dopo l'effetto di 50 cicli di asciutto-bagnato. Nel primo caso si osserva un danneggiamento pronunciato del canapulo, a causa dei prodotti di idratazione che causano erosione della fase amorfa ed infragilimento delle stesse particelle di canapa. Nel secondo caso, il grado di attacco alcalino si conferma inferiore, generando solo una lieve defibrillazione delle microfibre di cellulosa. Si può dire pertanto che l'aggiunta del metacaolino oltre ad aumentare la resistenza meccanica, estende anche la durabilità delle stesse fibre di canapa.

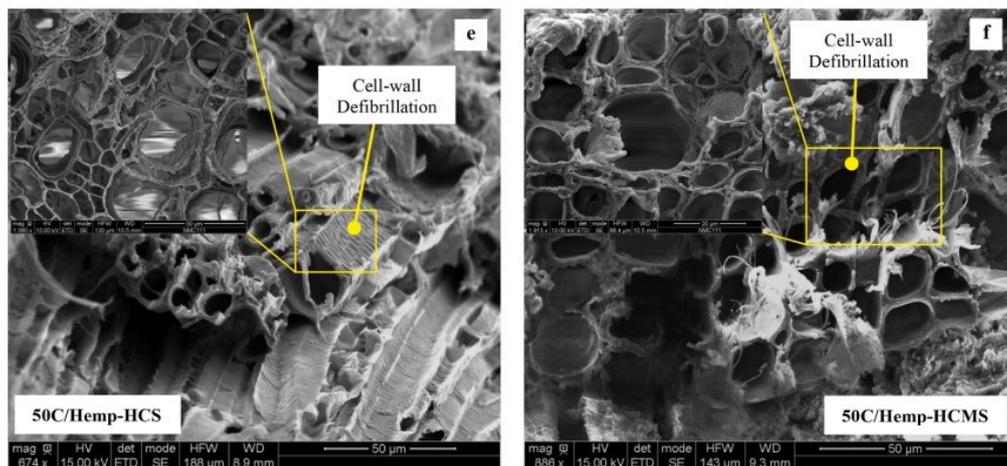


Figura 2.10: Micrografie SEM (scanning electron microscope) di particelle di canapa incorporate in matrici denominate in figura: HCS (campione privo di metacaolino) e HCMS (campione con aggiunta di metacaolino) rispetto ai cicli di asciutto-bagnato.⁸⁶

Come negli studi di R. Walker et al., anche in questo caso si dimostra l'efficacia dell'acqua trattenuta dalle particelle vegetali nel migliorare l'idratazione durante la reazione pozzolanica nel calcestruzzo vegetale. Viene evidenziato come lo sviluppo di idrati pozzolanici funzionino da barriera protettiva nella zona interfacciale intorno alle particelle di

⁸⁶ Redouane Zerrouki, Amar Benazzouk, Matthieu Courty, Haikel Ben Hamed, *Potential use of metakaolin as a partial replacement of preformulated lime binder to improve durability of hemp concrete under cyclic wetting/drying aging*, Construction and Building Materials, Available online 9 April 2022 0950-0618/© 2022 Elsevier Ltd

canapa contro le degradazioni fisiche. Come riportato sopra, la minore degradazione della cellulosa nelle particelle di canapa del composto con metcaolino è imputabile al maggior consumo di idrossido di calcio da parte della reazione pozzolanica, che da una parte riduce l'alcalinità, dall'altra aumenta la resistenza meccanica e la durabilità tramite formazione di composti C-S-H.

La seconda strategia (1b), è basata sull'accelerazione della carbonatazione della calce. Alcuni studi hanno dimostrato che l'aggiunta di additivi come il dietilcarbonato sono in grado di accelerare la carbonatazione della calce. Il dietilcarbonato (DEC) quando incontra l'idrossido di calcio si decompone in etanolo e ioni carbonato che reagiscono con gli ioni calcio accelerando la carbonatazione.⁸⁷ La seconda metodologia, basata sulla modifica fisica e/o mineralogica delle componenti vegetali, comporta il trattamento della canapa. Da un punto di vista chimico è possibile rimuovere le pectine dalla lamella centrale per separare i fasci di fibre in fibrille. Questa soluzione porterebbe ad un aumento della superficie disponibile per il legame chimico tra la matrice e le fibre, creando una superficie omogenea di cellulosa e migliorando l'adesione tra fibre e matrice.⁸⁸

⁸⁷ Ergenç Duygu, Fort Rafael, Santos Silva António, Veiga Rosário, Sanz Arauz David, *The effects of DiloCarB as carbonation accelerator on the properties of lime mortars*, Materials and structures, 2018

⁸⁸ Redouane Zerrouki, Amar Benazzouk, Matthieu Courty, Haikel Ben Hamed, *Potential use of matakaolin as a partial replacement of preformulated lime binder to improve durability of hemp concrete under cyclic wetting/drying aging*, Construction and Building Materials, Available online 9 April 2022 0950-0618/© 2022 Elsevier Ltd.

2.7 Ecocompatibilità

Il settore dell'edilizia contribuisce al 40% dell'energia primaria e al 40% delle emissioni di gas serra a livello globale. A livello internazionale si stanno compiendo sforzi importanti per ridurre le emissioni di CO₂ responsabili del riscaldamento globale.⁸⁹ In ambito edilizio abitativo, la riduzione delle emissioni di carbonio è associata al miglioramento dell'isolamento termico, all'aumento dell'efficienza dell'illuminazione, del riscaldamento e del raffrescamento ed alla riduzione delle dispersioni termiche dovute ai ponti termici ed alla scarsa tenuta all'aria. Inoltre, un'attenzione particolare è dedicata all'impiego di materiali a ridotto impatto ambientale, che possono essere riutilizzati o riciclati a fine vita, ed all'eventuale utilizzo di materiali in grado di assorbire la CO₂.⁹⁰ Sebbene il biocomposito calce-canapa abbia le caratteristiche per essere definito un materiale a ridotto impatto ambientale ed in grado di assorbire importanti quantitativi di CO₂, alcune considerazioni più specifiche in merito alla sua ecocompatibilità sono riportate nel seguito. Uno dei principali esponenti che si è interrogato sui limiti del biocomposito è stato Paolo Ronchetti con la sua Tesi in sviluppo sostenibile del 2007 a Dublino. Egli arrivò alla conclusione che la maggior parte dei limiti del biocomposito calce-canapa erano riferiti al fatto che fino a qualche anno fa non vi erano analisi che potessero certificarne le caratteristiche, le prestazioni e la sostenibilità ed inoltre non si possedeva una conoscenza della tecnologia di costruzione e del funzionamento né dai committenti né dagli operatori.⁹¹ Nel 2010 il

⁸⁹ **A. Arrigoni, C. Colombo**, *LCA DI MATERIALI ISOLANTI IN CALCECANAPULO PER EDILIZIA SOSTENIBILE*, Archivio istituzionale della ricerca- Università dell'Insubria, 2014

⁹⁰ **Dr Mike Lawrence, Dr Enrico Foddeb, Dr Kevin Paine, Prof. Pete Walker**, *Hygrothermal performance of an experimental hemp-lime building*, BRE Centre for Innovative Construction Materials, University of Bath, Bath, BA2 7AY, United Kingdom, 2012

⁹¹ **Paolo Ronchetti**, *The barriers to the mainstreaming of lime-hemp: a systemic approach*, MSC Sustainable Development at Dublin Institute of Technology School of Spatial Planning Department of Environment and Planning, 2007

governo irlandese incaricò Paolo Ronchetti di redigere l'EPA (*Environmental Protection Agency*) per mettere in luce lo stato dell'arte in Europa sui biocompositi in calce-canapa per la costruzione e l'efficientamento energetico. Gli esperti confermarono che l'unico limite era la disinformazione e che il biocomposito possedeva tutte le caratteristiche sostenibili e prestazionali in un mercato edile che ne avrebbe avuto sempre più bisogno, date le legislazioni sempre più stringenti in materia di efficientamento energetico degli edifici.⁹² Un'altra caratteristica che rende il biocomposito ecocompatibile è il fatto che può essere riciclato al fine vita semplicemente sgretolandolo e miscelandolo nuovamente con acqua e altro legante. Questo è valido sia per i blocchi che per le miscele e può essere riutilizzato non solo in edilizia ma anche nel compostaggio, nel rinterro o spargendola nei campi per aumentare il pH del terreno e la pacciamatura. In conclusione, l'ecocompatibilità del biocomposito calce-canapa si definisce attraverso: la capacità di continuare ad assorbire CO₂ anche dopo l'impiego,⁹³ la riduzione dei consumi energetici all'interno delle abitazioni, la riduzione dei consumi d'acqua per l'utilizzo e il riciclo al fine vita.⁹⁴ Per quanto riguarda il settore della sostenibilità ambientale lo strumento d'analisi utilizzato è il "*Life Cycle Assessment (LCA)*", questa tipologia negli ultimi anni è stata molto utilizzata nel settore edile, in particolare grazie alla crescita delle richieste di Dichiarazioni Ambientali di Prodotto (EPD, *Environmental Product Declarations*). Nonostante le ricerche sulla sostenibilità ambientale del calce-canapa stiano aumentando notevolmente, ad oggi gli studi LCA sono ancora limitati. Uno tra i più

⁹² **Paolo Ronchetti, P. Daly**, *Hemp Lime Bio-composite as a Building Material in Irish Construction*, 2012

⁹³ Si definisce infatti, la canapa, un materiale "carbon negative" o "better-than-zero carbon" poiché essa è in grado di assorbire più anidride carbonica dall'atmosfera rispetto a quella emessa dalla sua produzione e dalla sua applicazione.

⁹⁴ **Salim Barbhuiya, Bibhuti Bhusan Das**, *A comprehensive review on the use of hemp in concrete*, *Construction and Building Materials*, available online 18 May 2022 0950-0618/© 2022 Elsevier Ltd. A

recenti studi LCA sul calce-canapa è stato eseguito nel 2021 da Di Capua S.E. et al.⁹⁵. In questo studio LCA sono stati valutati gli impatti ambientali complessivi utilizzando tre metodologie:

- Ecoindicator: quantifica i danni alla salute umana, agli ecosistemi e al consumo di risorse
- Domanda energetica cumulativa (CED): analizza i diversi tipi di consumo energetico che si verificano nel ciclo di vita
- IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*): per misurare le emissioni di CO₂

Il calce-canapa è un composto che possiede le caratteristiche per essere definito un materiale a basso impatto ambientale: alta capacità isolante, bassa energia incorporata ed alto contenuto di CO₂ stoccata.⁹⁶ L'energia incorporata e l'impronta di carbonio possono variare in base al legante scelto e ai vari trasporti. Per quanto riguarda i leganti, è possibile confrontare i dati dei consumi energetici delle emissioni di CO₂ per la produzione di alcuni di essi nella Figura 2.11.

⁹⁵ Salvatore Emanuele DI CAPUA, Luisa PAOLOTTI, Elisa MORETTI, Lucia ROCCHI, Antonio BOGGIA, *Evaluation of the Environmental Sustainability of Hemp as a Building Material, through Life Cycle Assessment*, Environmental and Climate Technologies, 2021

⁹⁶ A. Miller, K. Ip, *Life cycle greenhouse gas emissions of hemp-lime wall constructions in the UK*, Resources, Conservation and Recycling, 2012

VALORI ORIENTATIVI DEI CONSUMI ENERGETICI DELLE EMISSIONI DI ANIDRIDE CARBONICA PER LA PRODUZIONE DI ALCUNI LEGANTI

MATERIALI	CONSUMI DI ENERGIA (Mcal/t)		EMISSIONI DI CO ₂ (kg/t)				CO ₂ RIASSORBITA DAL LEGANTE IN OPERA (kg/t)	EMISSIONE PERMANENTE DI CO ₂ (kg/t)
	termica	elettrica	energia termica	energia elettrica	decarbonatazion	tot.		
grassello	832	55	325	22	595	942	588	354
calce aerea calcica	832	110	325	43	569	947	530	417
calce aerea dolomitica	720	132	281	52	600	933	500	433
gesso	352	66	137	26	0	163	0	163
calci idrauliche	560	205	218	80	470	768	200	568
cemento CEM I	720	480	281	187	465	933	≈5	928

Figura 2.11: valori orientativi dei consumi energetici delle emissioni di anidride carbonica per la produzione di alcuni leganti, prodotta dall'autore

A livello di consumo energetico è evidente come il cemento sia il legante prodotto attraverso il processo più energivoro, mentre il gesso richiede il minor apporto energetico. Calci aree ed idrauliche richiedono consumi energetici comunque inferiori al cemento.

Per quanto riguarda le emissioni di CO₂, i bilanci sono più complessi, in quanto le emissioni derivano sia dal consumo energetico durante il processo produttivo, sia direttamente dalla decomposizione del carbonato di calcio (tranne che nel caso del gesso). Tuttavia, nel calcolo, è necessario anche considerare che la maggior parte dei leganti della Figura 2.11 è in grado di riassorbire CO₂ durante la stagionatura (fase di indurimento) e la vita in opera. Come risultato, pertanto, si può fare riferimento all'ultima colonna della Figura 2.11, che mostra le emissioni di CO₂ a valle dei precedenti processi di emissione/riassorbimento.

Questi valori indicano pertanto come le calce aeree ed idrauliche (oltre al gesso, naturalmente, ma che per le sue prestazioni inferiori è raramente usato come legante nei composti contenenti canapa) risultino migliori rispetto al cemento. Lo studio di Di Capua S.E. et al.⁹⁷ evidenzia infatti che il processo che ha più influenza nel ciclo vita del calce-canapa è proprio la produzione della calce idrata con il 67,3% dell'incidenza, il 19,2% è dato dal consumo di elettricità, il 7% dall'uso del legno di supporto e il 6,2% dalla canapa. La Figura 2.12 mostra la valutazione degli impatti del calce-canapa suddivisi in diversi ambiti; questa conferma l'impatto predominante del legante e dei trasporti sull'intero processo. Inoltre, la canapa risulta avere un impatto decisamente importante per quanto riguarda l'uso del suolo, per via della coltivazione.

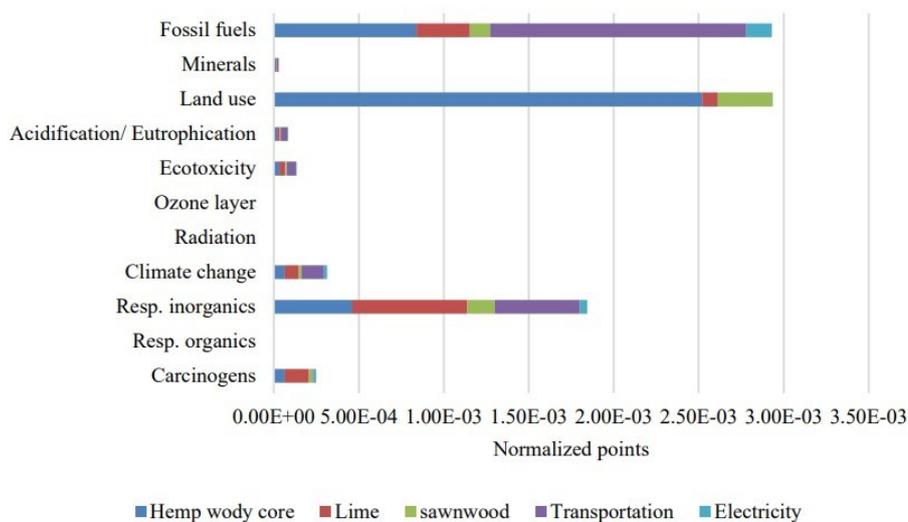


Figura 2.12: valutazione dell'impatto di una muratura in calce-canapa eseguita con il metodo Ecoindicator^{98, 99}

In questo studio i valori sono stati confrontati (Figura 2.13), a parità di prestazioni termiche, con quelli di una muratura comune in blocchi di

⁹⁷ Salvatore Emanuele DI CAPUA, Luisa PAOLOTTI, Elisa MORETTI, Lucia ROCCHI, Antonio BOGGIA, *Evaluation of the Environmental Sustainability of Hemp as a Building Material, through Life Cycle Assessment*, Environmental and Climate Technologies, 2021

⁹⁸ Il metodo Ecoindicator si usa nell'analisi del ciclo vita per valutare gli impatti ambientali di un prodotto o di un processo.

⁹⁹ Salvatore Emanuele DI CAPUA, Luisa PAOLOTTI, Elisa MORETTI, Lucia ROCCHI, Antonio BOGGIA, *Evaluation of the Environmental Sustainability of Hemp as a Building Material, through Life Cycle Assessment*, Environmental and Climate Technologies, 2021

mattoni forati ed isolamento esterno in polistirene e con quelli di una muratura in blocchi di calce-canapa. La muratura comune ha riscontrato valori più alti in tutti i campi fatta eccezione per l'uso del suolo che risulta invece essere maggiore nella miscela di calce-canapa. Inoltre, la muratura in blocchi di calce-canapa risulta avere un impatto superiore rispetto alla miscela (inferiore alla muratura comune), fattore che è principalmente correlato al processo di produzione del blocco ed al legante utilizzato (nella miscela viene utilizzata calce idrata mentre nei blocchi principalmente calce idraulica).

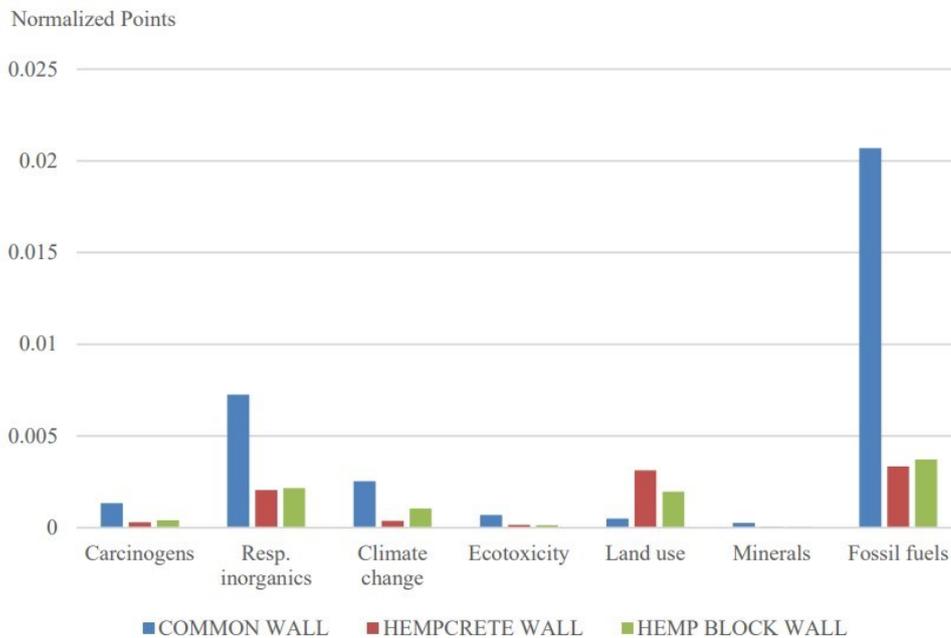


Figura 2.13: confronto della valutazione dell'impatto di una muratura comune, una muratura costituita dalla miscela in calce-canapa e da una muratura costituita da blocchi in calce-canapa con il metodo Ecoindicator ¹⁰⁰

¹⁰⁰Salvatore Emanuele DI CAPUA, Luisa PAOLOTTI, Elisa MORETTI, Lucia ROCCHI, Antonio BOGGIA, *Evaluation of the Environmental Sustainability of Hemp as a Building Material, through Life Cycle Assessment*, Environmental and Climate Technologies, 2021

2.7.1 Domanda energetica cumulativa

La domanda energetica cumulativa (CED- *cumulative energy demand*) è una misura che tiene conto di tutta l'energia utilizzata per la produzione e per l'uso del prodotto durante l'intero ciclo vita, inclusi gli input energetici. La figura 2.14 mostra diverse tipologie di risorse utilizzate a confronto sempre con le tre tipologie di muratura: comune in blocchi di mattoni forati ed isolamento esterno in polistirene, miscela di calce-canapa e blocchi di calce-canapa.

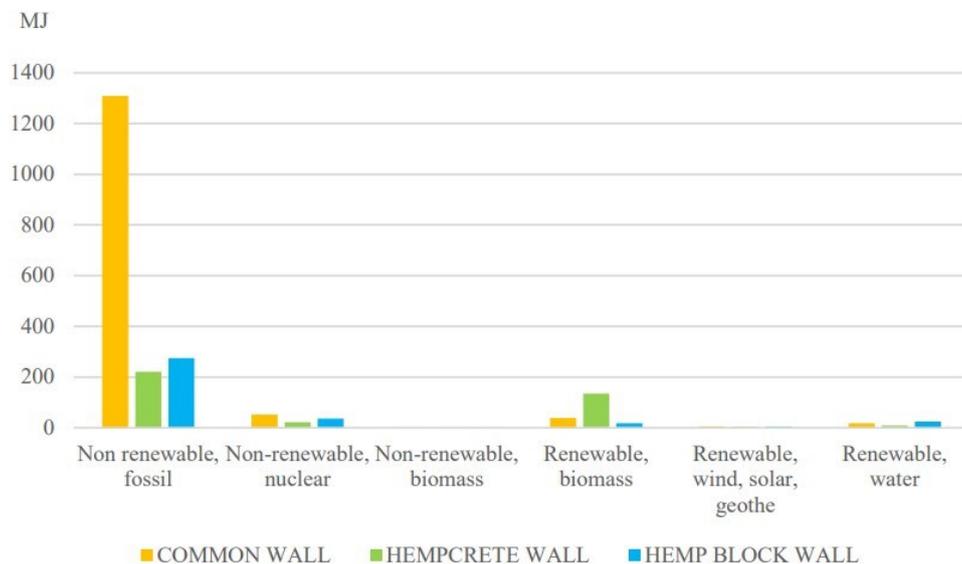


Figura 2.14: confronto per 1 m² di muratura comune, muratura in calce-canapa e muratura in blocchi di calce-canapa, eseguite con il metodo CED¹⁰¹

La presenza di polistirene nelle murature comuni fa sì che si riscontrino valori più elevati nella voce risorse non rinnovabili-fossili, il risultato delle altre due murature, invece, è principalmente correlato all'utilizzo del diesel e dei trasporti in generale. Per quanto riguarda le risorse non rinnovabili-nucleari la muratura comune risulta avere i valori maggiori a causa della presenza di uranio per la lavorazione di alcune materie prime

¹⁰¹Salvatore Emanuele DI CAPUA, Luisa PAOLOTTI, Elisa MORETTI, Lucia ROCCHI, Antonio BOGGIA, *Evaluation of the Environmental Sustainability of Hemp as a Building Material, through Life Cycle Assessment*, Environmental and Climate Technologies, 2021

utilizzate. Per i valori di risorse “biomasse”, i valori della muratura realizzata con la miscela di calce-canapa risultano essere i più elevati, circa 135,70 MJ/m², per via dell’elevata percentuale di canapa utilizzata.

2.7.2 Sequestro CO₂

L’impronta di carbonio viene invece rappresentata dalla somma delle emissioni di gas “effetto serra” come l’anidride carbonica (CO₂), il metano (CH₄) ed il protossido di azoto (N₂O) accumulate durante la produzione. Le recenti direttive sulle *Carbon Footprint* consentono di analizzare separatamente i contributi apportati dallo stoccaggio di CO₂. La velocità di crescita della canapa e la sua capacità di assorbire CO₂ stupiscono anche se si prende in considerazione il fatto che in 4 mesi un ettaro coltivato di canapa produce circa 12 tonnellate di biomassa ed attraverso il processo di fotosintesi, assorbe un quantitativo di CO₂ pari alla produzione di quattro anni di un bosco delle stesse dimensioni.¹⁰² La canapa, in particolare, è una pianta annuale che possiede una crescita velocissima, in questo breve arco di vita è però in grado di assorbire un grande quantitativo di CO₂ grazie alla fotosintesi clorofilliana. Secondo Pervais una tonnellata di canapa secca può catturare fino a 325 kg di CO₂.¹⁰³ *Lime Technology* afferma che “il biocomposito quando viene spruzzato è in grado di catturare circa 110 kg di CO₂/m³ e 165 kg di CO₂/m³ quando viene gettato nei casseri e pressato.”¹⁰⁴ Anche Woolley e Bevan hanno eseguito degli studi dimostrando che 31 kg di CO₂ vengono stoccati in un muro di 300 mm e 53 kg di CO₂ per un muro spesso 500

¹⁰² **Gilberto Barcella**, Canapa e calce. Tra tradizione e innovazione dalla bioedilizia alla neoedilizia, Dario Flaccovio Editore s.r.l., maggio 2021

¹⁰³ **Muhammad Pervais, Mohini M. Sain**, *Carbon storage potential in natural fiber composites*, Resources, Conservation and Recycling, Novembre 2003

¹⁰⁴ Queste stime tengono conto della CO₂ emessa durante il processo di produzione della calce

mm.¹⁰⁵ La capacità del biocomposito di calce-canapa di sottrarre anidride carbonica dipende in particolar modo dal tipo di legante utilizzato, come mostrato nella figura 2.11.

Per quanto riguarda il processo di produzione della canapa, si stima che la quantità di CO₂ assorbita dalla pianta mediante il processo di fotosintesi sia di circa 1.83 kg di CO₂ per 1 kg di canapulo. Nella Figura 2.15 viene rappresentato un esempio di impronta di carbonio del canapulo utilizzato per realizzare una parete di calce-canapa.

CATEGORIA DI IMPATTO	UNITÀ	PRODUZIONE CANAPULO
emissioni fossili	kg CO2-eq	1.75
emissioni biogeniche	kg CO2-eq	0.01
uso del suolo	kg CO2-eq	0
rimozione	kg CO2-eq	-58

Figura 2.15: Impronta di carbonio (*carbon footprint*) del canapulo utilizzato per 1 mq di parete in kgCO₂equivalente, prodotta dall'autore

Nello studio LCA condotto da Luprano et al.¹⁰⁶ (figura 2.16) è possibile analizzare le emissioni complete del biocomposito tenendo in considerazione tutte le voci. Lo studio prende in considerazione una parete di 1 m², spessa 0.25 m, costituita da blocchi in calce-canapa e malta. I blocchi sono costituiti da 31.4 kg di canapulo, 41.1 kg di legante a base di calce dolomitica e 53.1 kg di acqua; la malta è costituita da 0.85 kg di canapulo, 3.40 kg di legante e 5.50 kg di acqua.¹⁰⁷ Il coefficiente di

¹⁰⁵ **R. Bevan, T. Woolley**, *Constructing a low energy house from hempcrete and other natural materials*, 11th International Conference on Non-conventional Materials and Technologies (NOCMAT) 6-9 September 2009, Bath, UK, 2009

¹⁰⁶ **V. A. M. Luprano, P. Aversa., C. Tripepi, A. Marzo, B. Daniotti, G. Dotelli, S. Sabbadini, A. Rogora**, *Componenti edili con prestazioni energetiche ottimizzate per i climi mediterranei e basati su miscele di calcecanapulo*, Enea- Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile, Ministero dello sviluppo economico, settembre 2018

¹⁰⁷ **V. A. M. Luprano, P. Aversa., C. Tripepi, A. Marzo, B. Daniotti, G. Dotelli, S. Sabbadini, A. Rogora**, *Componenti edili con prestazioni energetiche ottimizzate per i climi mediterranei e basati su miscele di calcecanapulo*, Enea- Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile, Ministero dello sviluppo economico, settembre 2018

trasmissione di calore della parete era di 0.27 W/mqK. Questo studio ha considerato diverse fasi produttive così declinate (confini del sistema):

1. Coltivazione e trasformazione della canapa
2. Produzione del legante (estrazione e trasformazione delle materie prime minerali)
3. Trasporto delle materie prime all'azienda produttrice dei blocchi
4. Produzione dei blocchi in azienda (incluso imballaggio per la commercializzazione, consumi di acqua ed energia)
5. Trasporto dei blocchi in cantiere
6. Costruzione della parete e produzione in situ della malta: comprende l'estrazione delle materie prime per la produzione, trasporto in cantiere, consumo di acqua ed energia in loco
7. Fase di uso: carbonatazione del legante.

IMPRONTA DI CARBONIO (CARBON FOOTPRINT) DI 1 MQ DI PARETE IN kg CO₂ equivalente							
	1	2	4	3-5	6	7	1-7
categoria di impatto	produzione canapulo	produzione legante	produzione blocco	trasporti	costruzione parete	fase di uso	tot
emissioni fossili	1.75	35.4	1.02	6.52	3.32	0	48.02
emissioni biogeniche	0.01	0.18	0.03	0.01	0.1	0	0.34
uso del suolo	0	0	0	0	0	0	0
rimozione	-58	-0.04	-0.04	-0.01	-1.51	-0.53	-59.6

Figura 2.16: impronta di carbonio (*carbon footprint*) di 1 mq di parete in kg CO₂ equivalente tabella prodotta dall'autore

Le emissioni fossili e la rimozione (assorbimento CO₂) sono i due termini principali del bilancio, mentre le emissioni biogeniche e l'uso del suolo risultano quasi trascurabili, in quanto viene eseguita la valutazione in termini di kg CO₂ equivalente per 1 mq di parete. Come si può notare, la produzione del legante, in particolare la calcinazione della calce, rappresenta la principale fonte di emissioni fossili; la produzione del canapulo, invece, è il risultato della fotosintesi e della carbonatazione: la

canapa assorbe CO₂ durante la sua vita, il legante invece comincia ad assorbire CO₂ dopo essere entrato in contatto con l'aria. Per la fase 7 si è arrivati alla conclusione che nei brevi termini non è fondamentale il contributo di rimozione di CO₂ da parte del legante ma in tempi lunghi è ipotizzabile una completa carbonatazione del legante e quindi un sensibile contributo alla rimozione della CO₂. Dopo 240 giorni dalla produzione del blocco, il bilancio delle emissioni di CO₂ era sensibilmente negativo, pari ad un assorbimento netto di -11.24 kg CO₂ equivalente per metro quadro di parete, ma considerando una completa carbonatazione del legante si otterrebbe un assorbimento di -14.45 kg CO₂ eq/mq con un bilancio complessivo ancora più negativo di -25.69 kg CO₂ eq/mq.¹⁰⁸ Questo studio ovviamente tiene conto dell'utilizzo di un legante specifico costituito da calce dolomitica all'80% e cemento al 20%, ma come si può notare dalla tabella precedente rappresentata nella figura 2.11, in base al legante i valori di CO₂ emessa e sottratta sono differenti e perciò il bilancio risulta particolarmente sensibile al tipo di legante scelto. Si può inoltre considerare che maggiore è il contenuto di ossido di calcio prima dell'idratazione, maggiore sarà il potenziale di carbonatazione; tuttavia, non significa che venga massimizzato lo stoccaggio di anidride carbonica.¹⁰⁹ Un altro fattore che può modificare il bilancio di emissioni è il trasporto. La localizzazione delle cave di estrazione, i siti di coltivazione della canapa, gli impianti di produzione e trasformazione ed i cantieri possono essere scelti prediligendo quelli più vicini fra loro, diminuendo quindi le emissioni generate dai trasporti. In questo grafico (figura 2.17) è possibile confrontare le emissioni di CO₂ prodotte da tre murature differenti: muratura in calce-canapa (miscela),

¹⁰⁸ V. A. M. Luprano, P. Aversa., C. Tripepi, A. Marzo, B. Daniotti, G. Dotelli, S. Sabbadini, A. Rogora, *Componenti edili con prestazioni energetiche ottimizzate per i climi mediterranei e basati su miscele di calcecanapulo*, Enea- Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile, Ministero dello sviluppo economico, settembre 2018

¹⁰⁹ Jay H. Arehart, William S. Nelson, Wil V. Srubar III, *On the theoretical carbon storage and carbon sequestration potential of hempcrete*, Journal of Cleaner Production, 2020

muratura in blocchi di calce-canapa e muratura comune. Quest'analisi è stata eseguita con il metodo IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) GWP 100a kg CO₂ eq e non tiene conto della fase di carbonatazione del legante (perciò, i valori sono ancora positivi).

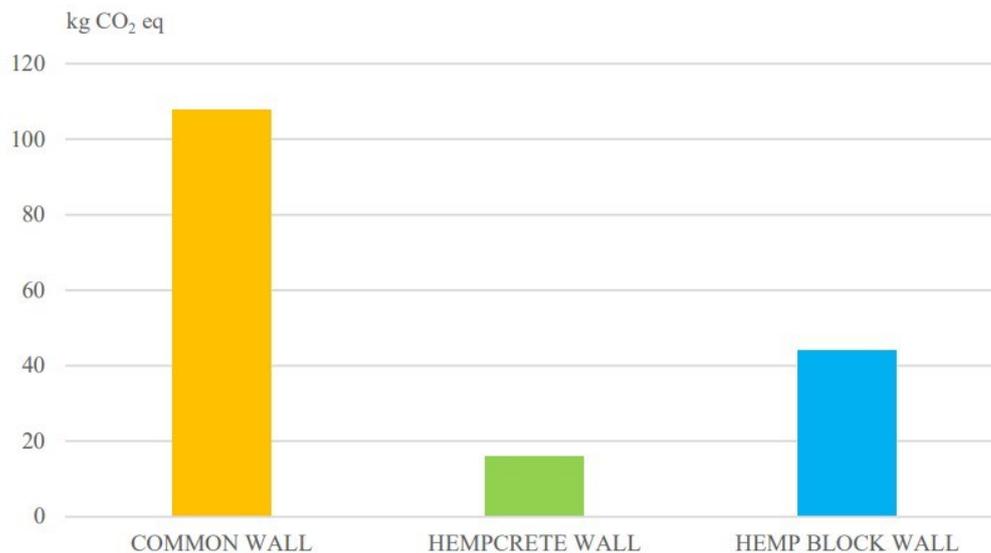


Figura 2.17: confronto di 1 m² di una muratura comune, una muratura in calce-canapa (miscela) e una muratura in blocchi di calce-canapa, mediante il metodo IPCC¹¹⁰

La muratura comune presenta i valori più elevati con 107,88 kg di CO₂eq, la muratura eseguita con la miscela di calce-canapa è invece quella con i valori più bassi 15,22 kg/m² (di CO₂eq), i blocchi risultano essere una via di mezzo con 44 kg/m² (di CO₂eq). Il risultato più basso è dovuto alla capacità del canapulo di assorbire un grande quantitativo di CO₂ durante la coltivazione (circa 13 t/ha) e ad una minima lavorazione nella produzione. I valori invece dei blocchi sono superiori a quelli della miscela, in quanto viene utilizzata la calce idraulica e vi sono inoltre più processi nella formazione dei blocchi, quindi più emissioni. Infine, nello studio di Arrigoni et al.¹¹¹ (figura 2.18) vengono messi a confronto

¹¹⁰Salvatore Emanuele DI CAPUA, Luisa PAOLOTTI, Elisa MORETTI, Lucia ROCCHI, Antonio BOGGIA, *Evaluation of the Environmental Sustainability of Hemp as a Building Material, through Life Cycle Assessment*, Environmental and Climate Technologies, 2021

¹¹¹ A.Arrigoni, C. Colombo, *LCA DI MATERIALI ISOLANTI IN CALCECANAPULO PER EDILIZIA SOSTENIBILE*, Archivio istituzionale della ricerca- Università dell'Insubria, 2014

diversi materiali prodotti dall'azienda Equilibrium: Natural Beton 200 (miscela legante e canapulo in rapporto 1:1), Natural Beton 200 (alternativo: miscela legante e canapulo con differenza di trasporto), Natural Beton 300 (miscela legante e canapulo in rapporto 2:1), biomattone (blocco prefabbricato in rapporto 2:1).

EMISSIONI CO₂ DI DIFFERENTI PRODOTTI SUDDIVISE PER CATEGORIA D'IMPATTO					
categorie d'impatto	unità	natural beton 200	natural beton 200 alternativo	natural beton 300	biomattone
fossile	kg CO ₂ -eq	0.25	0.23	0.34	0.29
biogenica	kg CO ₂ -eq	0.01	0.01	0.01	0.01
cambiamento uso del suolo	kg CO ₂ -eq	0	0	0	0
assorbimento	kg CO ₂ -eq	-0.56	-0.56	-0.39	-0.34
co ₂ totale	kg	-0.3	-0.32	-0.04	-0.04

Figura 2.18: emissioni CO₂ Natural Beton 200, Natural Beton 200 alternativo, Natural Beton 300 e biomattone, tabella prodotta dall'autore ¹¹²

Il bilancio complessivo per tutti i prodotti, conteggiando anche il processo di carbonatazione, risulta negativo, confermando che il biocomposito di calce-canapa è un materiale *carbon footprint negative*; si può notare inoltre, come il Natural Beton 200 alternativo mostri un'emissione di anidride carbonica sensibilmente inferiore, per quanto riguarda la categoria d'impatto "fossile": ciò è dovuto allo studio di un differente scenario di trasporto che passa da 530 km (per il Natural Beton 200) a 40 km (per il Natural Beton alternativo) e conferma il fatto che parte delle emissioni può essere ridotta, riducendo la lunghezza dei trasporti (o riducendo le emissioni fossili con fonti rinnovabili). La ricerca scientifica continua, comunque, a investigare sul miglioramento dell'assorbimento di gas serra per il calce-canapa, ed in particolare, studi come quello di Vandana Loka Prakash et al. hanno verificato, per esempio, che l'aggiunta di vertiver e del gokshura, due piante originarie

¹¹² **A.Arrigoni, C. Colombo, LCA DI MATERIALI ISOLANTI IN CALCECANAPULO PER EDILIZIA SOSTENIBILE**, Archivio istituzionale della ricerca- Università dell'Insubria, 2014

dell'India, al biocomposito, fa sì che le emissioni di gas serra vengano assorbite in modo più efficace.¹¹³

¹¹³ **Vandana Loka Prakash, R. Ravi**, *Usage of hemp and vetiver blended with lime as natural additives to reduce greenhouse gas emissions*, Journal of Physics: Conference Series, 2021

3. TECNOLOGIE E MODALITÀ DI APPLICAZIONE DEL BIOCOMPOSITO

Il biocomposito può essere principalmente applicato sottoforma di miscela o di blocchi. I blocchi e i pannelli (Figura 3.1) possono essere di diverso tipo e vengono posati in modo tradizionale mentre per la miscela vengono utilizzate diverse metodologie di applicazione: a mano, a getto e a spruzzo. Queste tecniche possono essere utilizzate indistintamente, tenendo in considerazione che per la tecnica a spruzzo bisogna disporre di una parete su cui spruzzare il biocomposito mentre per l'applicazione a getto è necessario disporre di casseri che verranno rimossi dopo il getto per garantire la corretta stagionatura. La realizzazione di massetti e riempimenti si può eseguire con entrambe le metodologie, mentre la realizzazione di finiture, per una maggior precisione, avviene solitamente per mezzo di applicazione manuale con la cazzuola e la talocchia. Gli elementi prefabbricati (blocchi e pannelli) sono prodotti analogamente ai prodotti tradizionali: i blocchi si presentano con una forma parallelepipedica, dalla superficie ruvida e grezza al tatto e di consistenza porosa (data dalla granulometria dell'impasto). I blocchi standard sono di 50x20 cm di lunghezza e altezza con spessori variabili da 8 cm a 40 cm. Non potendo essere utilizzati come materiale per la struttura portante sono sempre accoppiati a strutture portanti in legno, in acciaio, in calcestruzzo armato o in muratura. Vengono spesso utilizzati per pareti divisorie, per pareti e mura di tamponamento ex-novo o per il restauro e la riqualificazione. Essendo la canapa un materiale igroscopico è necessario durante la posa impermeabilizzare il primo strato di blocchi per evitare la risalita dell'acqua, per il resto la posa viene eseguita come per i blocchi tradizionali. È importante prediligere una malta d'allettamento di calce-canapa o comunque di calce per evitare ponti

termici e differenze nella stagionatura.¹¹⁴ I pannelli in calce-canapa possono essere rigidi, semirigidi o morbidi e vengono utilizzati per la coibentazione termo-acustica di pareti, solai, coperture ed anche per la realizzazione di cappotti su laterizi, mattoni pieni e murature in pietra. La composizione dei blocchi e dei pannelli in calce-canapa li rende leggeri e maneggevoli in cantiere e per l'applicazione non presentano difficoltà nella posa, in quanto risulta essere simile a quella tradizionale. Dal punto di vista prestazionale sono ottimali: sono resistenti al fuoco, molto traspiranti, isolanti e regolatori d'umidità.



Figura 3.1: a sinistra dei blocchi in calce-canapa, a destra un pannello in calce-canapa¹¹⁵

La miscela di calce-canapa si presenta come un materiale granulare privo di consistenza (Figura 3.2), perciò, per determinate applicazioni risulta necessario l'utilizzo di un cassero di contenimento. Questo tipo d'esecuzione è ancora molto costosa per via delle lunghe tempistiche e delle maestranze associate. La miscela viene utilizzata per la realizzazione di strati isolanti di pareti, coperture e superfici orizzontali, interne ed esterne; può essere messa in opera sia preparando l'impasto in cantiere sia usufruendo del materiale preconfezionato. La miscela di calce-canapa viene, inoltre, utilizzata per la realizzazione di termintonaci, intonaci esterni ed interni, finiture, tinteggi e per la

¹¹⁴ **Marco Adriano Perletti**, *Costruire sostenibile con la canapa*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna (RN), gennaio 2020

¹¹⁵ **Marco Adriano Perletti**, *Costruire sostenibile con la canapa*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna (RN), gennaio 2020

decorazione di pareti e soffitti. In generale, le prestazioni della miscela sono le medesime degli elementi prefabbricati: isolamento termo-acustico, resistenza all'umidità, resistenza al fuoco e traspirabilità.



Figura 3.2: miscela in calce-canapa¹¹⁶

Nel caso di applicazione di miscele fresche per finiture, per poter applicare ulteriori strati è necessario rispettare i tempi di essicamento del biocomposito che risultano essere molto lunghi rispetto ad altri materiali a causa delle caratteristiche igroscopiche del calce-canapa. Tuttavia, le tempistiche sono strettamente correlate al tipo di calce utilizzata, ai metodi di applicazione ed alle condizioni climatiche (temperatura, vento, umidità...). In generale, si può sostenere che la calce aerea (per via dei processi di carbonatazione¹¹⁷) necessita di più tempo per essiccare rispetto alla calce idraulica e che la tecnica a spruzzo riduca le tempistiche per via dell'applicazione per strati (a mano è possibile ottenere lo stesso risultato eseguendo molti strati più sottili uno sopra l'altro).

¹¹⁶Marco Adriano Perletti, *Costruire sostenibile con la canapa*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna (RN), gennaio 2020

¹¹⁷ Questo processo richiede lunghe tempistiche e dipende da diversi fattori: la concentrazione di CO₂, la temperatura e la superficie esposta (dato che l'anidride carbonica può penetrare solo attraverso la superficie, l'essiccazione completa richiede tempi lunghi)

3.1 Riempitivo isolante per murature

Il calce-canapa non è particolarmente idoneo a sopportare carichi elevati; tuttavia, può essere utilizzato come riempitivo isolante per i muri in collaborazione con una struttura portante in legno, acciaio, cemento o nelle murature in laterizio (Figura 3.3). L'utilizzo della miscela come riempitivo isolante ha inoltre la capacità di eliminare la formazione di ponti termici e può essere applicata manualmente o con appositi macchinari. Non dovendo assolvere a funzioni strutturali, il biocomposito viene miscelato in modo tale da possedere una densità bassa ed esaltare le caratteristiche termiche, così da garantire un'eccellente isolamento termo-acustico dell'edificio.

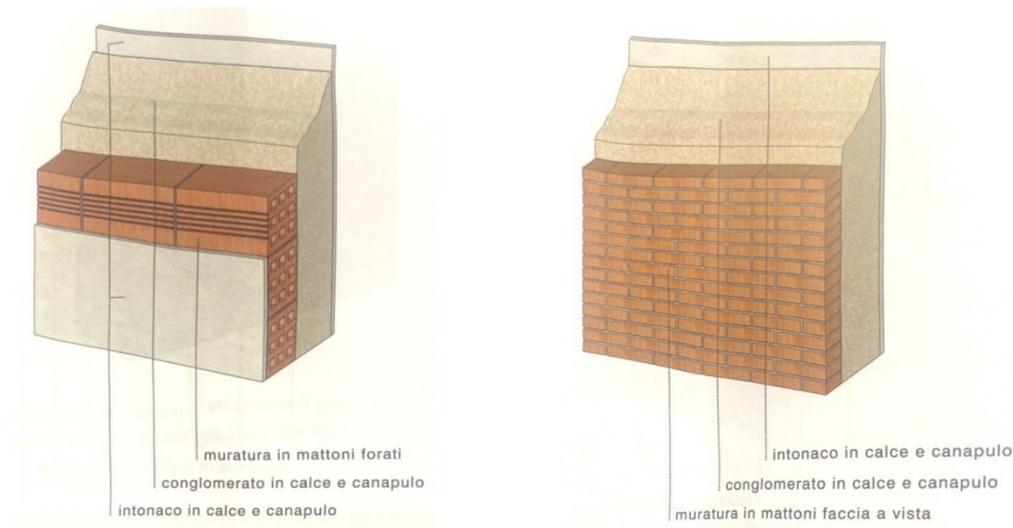


Figura 3.3: a sinistra uno schema esplicativo di una muratura con riempitivo isolante in calce-canapa, a destra uno schema esplicativo di una muratura in mattoni a vista con riempitivo isolante in calce-canapa¹¹⁸

¹¹⁸ **Marco Adriano Perletti**, *Costruire sostenibile con la canapa*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna (RN), gennaio 2020

3.2 Isolante per tetti

Le caratteristiche isolanti e la possibilità di ottenere un materiale leggero e maneggevole rendono il calce-canapa idoneo non solo all'isolamento delle murature ma anche a quello dei tetti. Nella Figura 3.4 si mostrano due esempi di applicazione del conglomerato calce-canapa per due tipologie di coperture differenti: per un solaio di copertura in latero-cemento e per un solaio di copertura in legno.

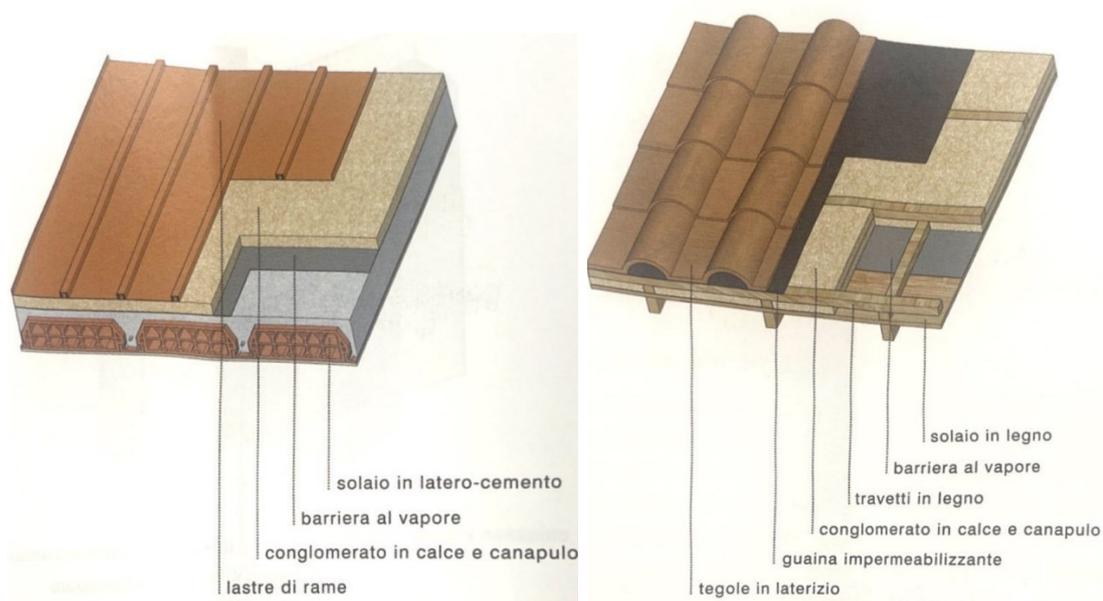


Figura 3.4: a sinistra solaio di copertura in latero-cemento e isolamento in conglomerato di calce-canapa; a destra solaio di copertura in legno con isolamento in conglomerato di calce-canapa¹¹⁹

Nel caso della Figura 3.5, viene mostrata la tecnica per la posa del biocomposito “dell’intercapedine a due lastre”. In questo caso si utilizzano pannelli di contenimento nei quali viene inserita la miscela tra una trave e l’altra. Per queste applicazioni è necessario definire il rapporto calce/canapa in modo tale che risulti leggero e non porti ad un sovraccarico eccessivo sulla struttura. Ad esempio, Gilberto Barcella specializzato nel restauro e nella costruzione con la canapa e la calce

¹¹⁹Marco Adriano Perletti, *Costruire sostenibile con la canapa*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna (RN), gennaio 2020

naturale e ideatore di un importante brevetto per la realizzazione di biocomposti, riporta nel suo testo che per queste applicazioni è indicato usare un rapporto 1:1¹²⁰. Un altro fattore importante da considerare è l'aggiunta dell'acqua all'impasto; infatti, essendo la canapa un materiale molto igroscopico, il quantitativo d'acqua da aggiungere è variabile in base al luogo, alle temperature ed all'umidità presente.



Figura 3.5: esempio posa miscela di calce-canapa sul solaio di copertura¹²¹

¹²⁰ **Gilberto Barcella**, *Canapa e calce. Tra tradizione e innovazione dalla bioedilizia alla neoedilizia*, Dario Flaccovio Editore, maggio 2021

¹²¹ **Marco Adriano Perletti**, *Costruire sostenibile con la canapa*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna (RN), gennaio 2020

3.3 Cappotto isolante

Il biocomposito può anche essere utilizzato per la realizzazione di cappotti termici in grado di evitare le dispersioni di calore di edifici che devono essere ristrutturati o che non possiedono una buona coibentazione (Figura 3.6). In questo caso il montaggio può richiedere l'utilizzo di accessori per ancorare i pannelli alla struttura, ma il procedimento è simile a quello utilizzato per l'applicazione di cappotti tradizionali. Nei restauri è possibile ottenere il medesimo risultato utilizzando il calce-canapa anche sotto forma di miscela, seguendo l'andamento della muratura originale, così da non snaturare le particolarità dell'edificio.¹²²

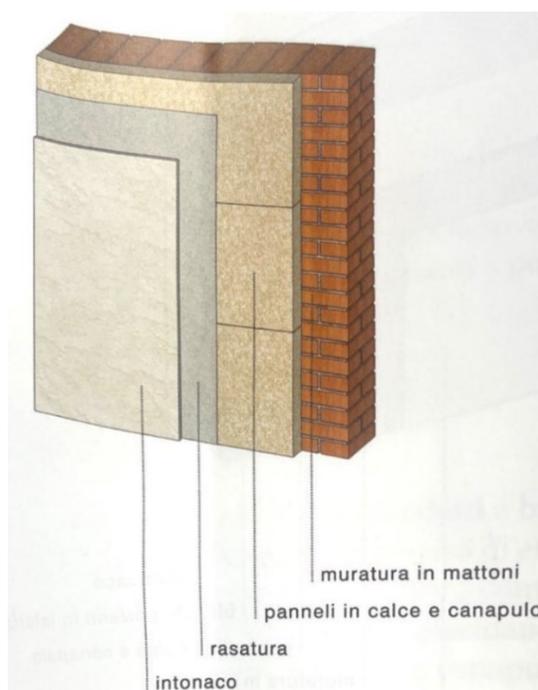


Figura 3.6: cappotto esterno con pannelli isolanti in calce-canapa¹²³

¹²² Marina Locandieri, Maria Albonico, Giorgio Garabelli, Maria Rita Minciardi, Angelo Albonico, Paolo Deaglio, *Termo cappotto calce-canapa a km zero: materiali tradizionali applicati al restauro in funzione delle attuali esigenze abitative e normative*, Quale sostenibilità per il restauro? Estratti del 30° convegno di studi. Scienza e Beni culturali, Bressanone 1-4 luglio 2014, Edizioni Arcadia Ricerche, via delle industrie 25/11, Venezia Marghera

¹²³ Marco Adriano Perletti, *Costruire sostenibile con la canapa*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna (RN), gennaio 2020

Utilizzare il calce-canapa come cappotto isolante è una soluzione che presenta diversi vantaggi: riduce notevolmente i consumi energetici (e quindi i costi) e lo scambio termico tra interno ed esterno; elimina i ponti termici e la possibilità di muffe e condense superficiali; migliora il comfort termico ed il benessere degli occupanti. Una volta applicato il biocomposito viene ricoperto con uno strato di intonaco, uno di rafforzamento ed uno di finitura. I procedimenti e le tecniche di posa spesso variano a seconda della tipologia del cappotto e dell'applicatore, ma in generale non si discostano dalle metodologie tradizionali (Figura 3.7).



Figura 3.7: cappotto in calce-canapa¹²⁴

¹²⁴ www.labancadellacalce.it

3.4 Intonaco isolante per muri (interni ed esterni)

Specialmente per quanto riguarda gli intonaci, le quantità di calce e di canapa sono molto variabili: in questo caso si predilige un quantitativo di calce superiore, rispetto ad altre tipologie di applicazione, per garantire una buona lavorabilità del materiale, ma il quantitativo preciso dipende dalle condizioni ambientali. Nella realizzazione di intonaci su murature tradizionali e nelle murature composte da pietre, risulta essere una soluzione molto efficace in grado di isolare l'edificio e risolvere i problemi di umidità. La miscela può essere applicata a mano o a macchina in spessori anche superiori ai 10 cm sia all'interno che all'esterno. Per le sue caratteristiche termiche prende il nome di “termointonaco” (Figura 3.8).¹²⁵



Figura 3.8: posa del primo strato di termointonaco sull'esterno di un'abitazione¹²⁶

¹²⁵Marco Adriano Perletti, *Costruire sostenibile con la canapa*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna (RN), gennaio 2020

¹²⁶Marco Adriano Perletti, *Costruire sostenibile con la canapa*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna (RN), gennaio 2020

È stato dimostrato che gli intonaci di calce-canapa sono materiali igroscopici e traspiranti. L'intonaco di calce-canapa con il frammento di canapa più piccolo è un regolatore igrico migliore ed è leggermente più conduttivo di quello con il frammento di canapa più grande. In base alla granulometria del canapulo è possibile realizzare diverse tipologie di intonaci come rappresentato nella Figura 3.9, che mostra la stratigrafia dell'intonaco, composto da strati in cui la granulometria del canapulo diminuisce verso l'esterno, e nel dettaglio della Figura 3.10. Per ottenere qualità estetiche migliori, l'ultimo strato viene realizzato con la pezzatura di canapulo più fine o con la polvere di canapulo.

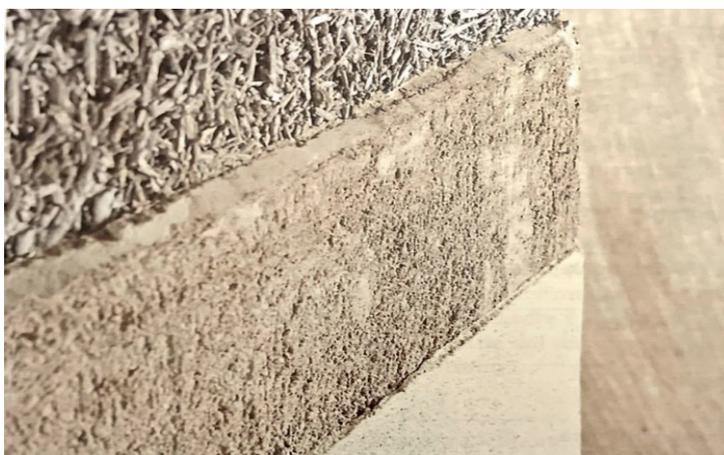


Figura 3.9: differenti tipologie di intonaci in calce-canapa¹²⁷



Figura 3.10: dettaglio intonaco calce-canapa eseguito con una granulometria di canapulo media¹²⁸

¹²⁷ **Marco Adriano Perletti**, *Costruire sostenibile con la canapa*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna (RN), gennaio 2020

¹²⁸ **Marco Adriano Perletti**, *Costruire sostenibile con la canapa*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna (RN), gennaio 2020

Le miscele ed il tipo di legante possono risultare molto differenti in base alle preferenze dell'applicatore che esegue l'intonaco, alle prestazioni che si vogliono ottenere ed alle condizioni ambientali. Un esempio di prodotto commerciale comunemente impiegato per la produzione di intonaci a base di calce-canapa è un legante composto per il 35% da additivi minerali e per il 65% da un legante a base di calce, composto da grassello di calce aerea (85%) e calce idraulica (15%).¹²⁹ Il termointonaco di calce-canapa a bassa densità, circa 200 Kg/m³, è il sistema che compete meglio con i cappotti sul mercato; in questo caso si predilige la tecnica a spruzzo, rispetto al getto, per garantire che il materiale si incolli alla parete ed indurisca rendendosi pronto a ricevere un intonaco in sabbia o in calce-canapa. In Italia, per questo scopo, sono stati sviluppati particolari macchinari con i quali è possibile realizzare termointonaci a bassa densità di calce-canapa con spessori da 1 a 50 cm. La principale differenza tra la tecnica “a getto” e quella “a spruzzo” risiede nella tempistica con la quale si miscelano i materiali: per il getto a cassero si è soliti miscelare prima canapa e acqua e successivamente la calce; per la tecnica a spruzzo si miscelano prima calce e acqua, si inserisce la miscela nel macchinario nel quale incontra il canapulo negli ultimi 15 cm del tubo del macchinario e fuoriuscendo viene applicato direttamente sul muro. Per la realizzazione di intonaci e finiture su superfici realizzate in calce-canapa (Figura 3.11) è necessario tener conto della traspirabilità del materiale in modo tale da non compromettere la permeabilità al vapore del biocomposito. Vengono infatti suggerite le applicazioni di intonaci a base di calce, di calce-canapa, di terra o argilla; mentre sono sconsigliate le applicazioni di vernici ed intonaci polimerici. Per l'esterno, dove il materiale è più soggetto al contatto con gli agenti

¹²⁹ Przemysław Brzyski, Grzegorz Łagód and Zbigniew Suchorab, *Properties of a thermal-insulating wall material based on hemp shives and lime binder*, AIP Conference Proceedings 2170, 020004, 05 Novembre 2019

atmosferici, sono consigliati rivestimenti in legno o pietra ed intonaci a base di calce e aggregati per proteggere le murature. Quando si utilizzano rivestimenti in legno, per proteggere i blocchi si consiglia l'applicazione di uno strato protettivo, ed in questo caso il rivestimento può essere ancorato direttamente ai blocchi con delle viti da 10-15 cm.¹³⁰ Nelle strutture composte da blocchi si consiglia di aspettare circa un mese per l'applicazione dell'intonaco, in modo tale da evitare i rischi portati da una malta di giunzione ancora umida.



Figura 3.11: finiture per termintonaci in calce-canapa¹³¹

Solitamente le pitture di finitura (Figura 3.12) sono permeabili al vapore acqueo e vengono applicate con pennelli o rulli in modo tale da creare un film di rivestimento. Sono molto traspiranti e proteggono dall'attacco di

¹³⁰ **Ponzone L, Sorek Y, "Coltivare l'architettura sostenibile"**

¹³¹ **Marco Adriano Perletti, Costruire sostenibile con la canapa, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna (RN), gennaio 2020**

microrganismi (muffe, batteri, funghi). Quando si utilizza il calce-canapa per la realizzazione di tinteggi per interni ed esterni si può miscelare con olio essenziale di canapa sativa e con grassello di calce invecchiato garantendo eccellenti qualità antisettiche, antibatteriche e traspiranti. Dal punto di vista estetico, dopo la carbonatazione si forma una pellicola composta da microcristalli di calcite che donano particolari riflessi di luce.



Figura 3.12: pittura in calce-canapa¹³²

¹³²Marco Adriano Perletti, *Costruire sostenibile con la canapa*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna (RN), gennaio 2020

3.5 Solette isolanti, sottofondi e massetti coibenti e alleggeriti per piani terra o intermedi

Il calce-canapa può essere utilizzato anche per la realizzazione di solette isolanti ed in sostituzione ai sottofondi alleggeriti; anche in questo caso la miscela viene applicata con le stesse modalità utilizzate per le murature e per i tetti (Figura 3.13). Con l'utilizzo del biocomposito la pavimentazione finale può essere posata direttamente sopra evitando l'utilizzo di materiali tossici sintetici.

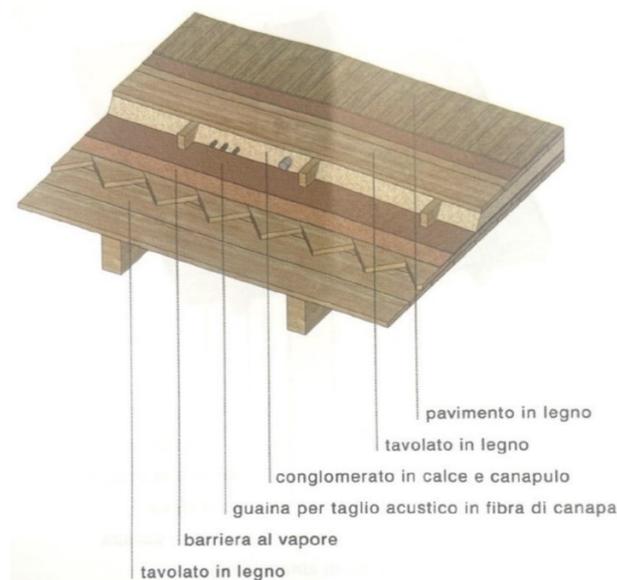


Figura 3.13: esempio applicazione solaio intermedio in legno con isolamento in conglomerato di calce-canapa¹³³

Nel caso il biocomposito venga utilizzato per la realizzazione di sottofondi e massetti coibenti e alleggeriti, i solai possono essere in legno o in cemento, in ogni caso prima di procedere con l'applicazione è necessario avere l'accortezza di ripulirli da polveri ed impurità e di bagnarli. Il calce-canapa possiede dei vantaggi quando viene applicato come sottofondo: la flessibilità, che lo rende resistente alle deformazioni

¹³³ **Marco Adriano Perletti**, *Costruire sostenibile con la canapa*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna (RN), gennaio 2020

dei pavimenti limitando i rischi di imbarcamento, e la bassissima densità (rispetto agli altri materiali in commercio utilizzati per questo scopo), che evita di sovraccaricare eccessivamente la struttura. Quando si realizzano i sottofondi per solai interni, la posa di impianti radianti a pavimento deve effettuarsi al di sopra dei massetti. La miscela può essere stesa a mano o con l'aiuto di appositi macchinari e lo strato finale viene solitamente livellato con una staggia o con un frattazzo, come mostrato nella Figura 3.14. L'applicazione del biocomposito come massetto non necessita della posa del freno a vapore dato che possiede un'elevata capacità igrometrica e, come per i massetti tradizionali, necessita di prevedere le interruzioni in corrispondenza dei giunti di dilatazione. La principale differenza tra la realizzazione del massetto calpestabile e quella del massetto non calpestabile risiede nella densità: la seconda, avendo una funzione isolante, possiede un contenuto di calce inferiore e quindi una minor densità, al contrario della prima. I tempi di essiccamento sono variabili in base alla temperatura ed all'umidità, si stimano 40 giorni prima di poter procedere con la posa del pavimento.¹³⁴

¹³⁴ **Marco Adriano Perletti**, *Costruire sostenibile con la canapa*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna (RN), gennaio 2020

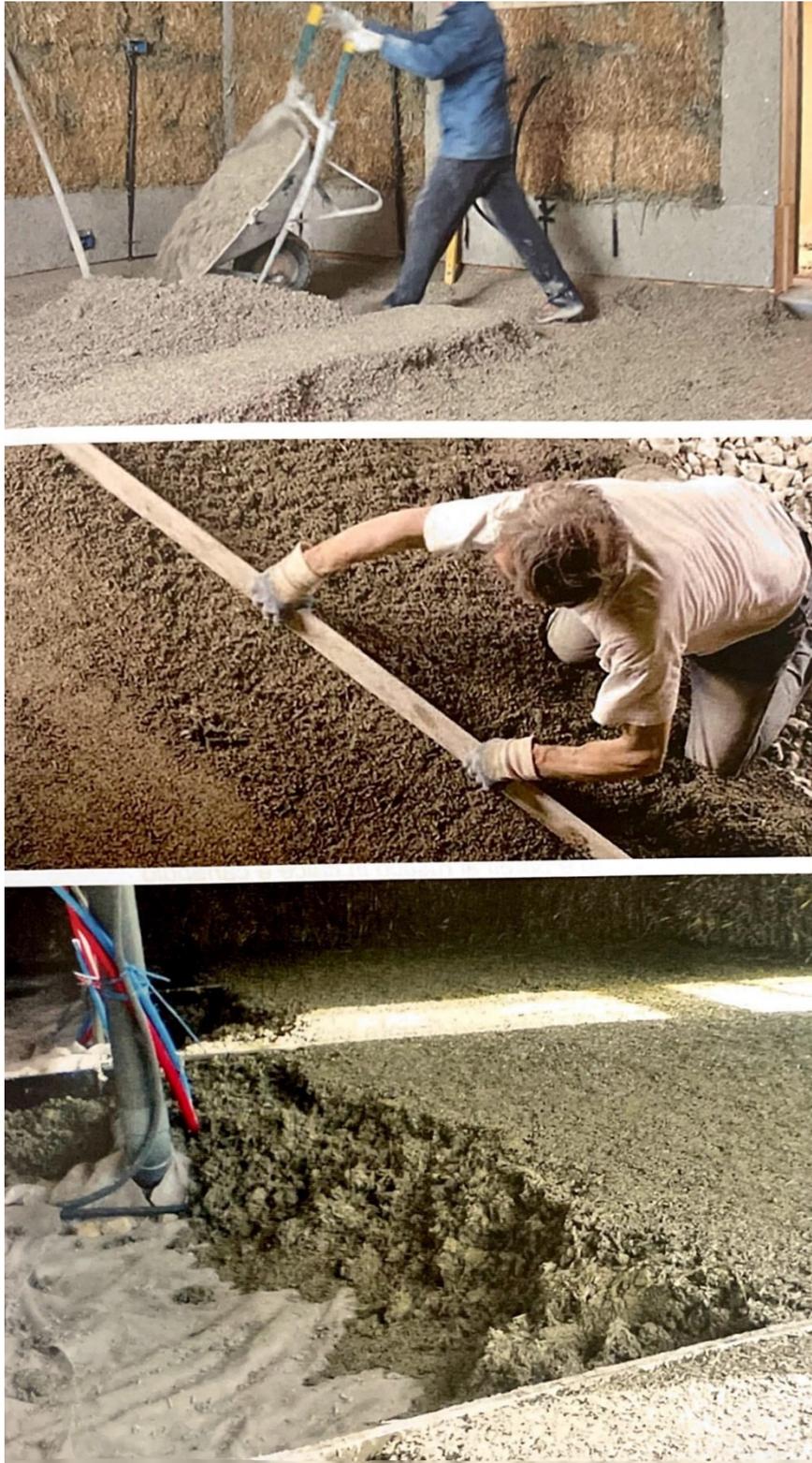


Figura 3.14: stesura conglomerato in calce-canapa per il massetto di un solaio orizzontale¹³⁵

¹³⁵ **Marco Adriano Perletti**, *Costruire sostenibile con la canapa*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna (RN), gennaio 2020

3.6 Tecnologia sistema acciaio, calce-canapa

Questa tipologia di sistema, riportata nella Tesi di Veronica Angelozzi¹³⁶, prevede una soluzione alle problematiche di posa in cantiere. Detto sistema è stato ideato e progettato dallo Studio Ass.to M Ingegneria (Ing. Miazzon A., Ing. Rampin L.) e prevede l'utilizzo di casseri prefabbricati e standardizzati in grado di ridurre i tempi e facilitare la posa in cantiere. Il sistema è composto da una struttura portante in acciaio, calcestruzzo armato o legno, unito a pannelli prefabbricati realizzati con una matrice di fili d'acciaio zincato elettrosaldati, confinata su entrambi i lati da pannelli di lana di legno mineralizzato che fungono da cassero nel quale viene insufflato il calce-canapa. Nelle superfici esterne è possibile realizzare un intonaco a base di calce che si aggrappa alla struttura metallica formando una specie di intonaco armato (Figura 3.15).

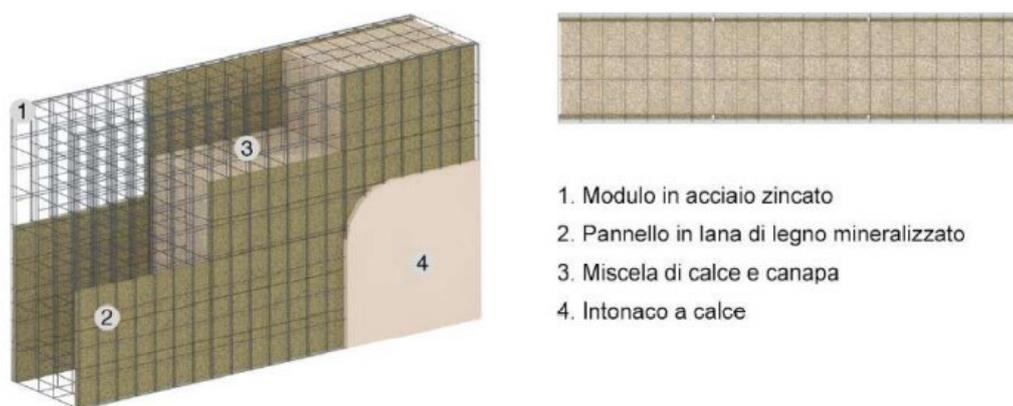


Figura 3.15: tecnologia sistema acciaio, calce-canapa¹³⁷

¹³⁶Angelozzi V., *Una nuova soluzione costruttiva in calce e canapa su sistema prefabbricato: applicazione ad un caso studio reale e analisi del ciclo di vita (LCA)*, Università di Bologna, Chimica e Tecnologia del Restauro e della Conservazione dei materiali, a.a. 2019/2020, Bologna

¹³⁷Angelozzi V., *Una nuova soluzione costruttiva in calce e canapa su sistema prefabbricato: applicazione ad un caso studio reale e analisi del ciclo di vita (LCA)*, Università di Bologna, Chimica e Tecnologia del Restauro e della Conservazione dei materiali, a.a. 2019/2020, Bologna

La miscela è stata composta con grassello di calce, canapulo mineralizzato e acqua in rapporto (circa) 2,2:1:0,7. Per quest'applicazione è stato scelto il grassello di calce in quanto a differenza dei leganti idraulici:

- migliora la traspirabilità, per via della formazione di cristalli di calcite più grandi che si generano durante la carbonatazione;
- produce un incremento graduale delle resistenze;
- conferisce alta permeabilità alle malte e salubrità degli ambienti, per le caratteristiche disinfettanti e antisettiche (l'ambiente alcalino è sfavorevole per i microrganismi, batteri, funghi e muffe);
- regola l'umidità relativa degli ambienti e riduce, insieme al canapulo, la proliferazione di muffe;
- possiede una lunga durabilità ed è ecocompatibile.¹³⁸

¹³⁸ **Angelozi V.**, *Una nuova soluzione costruttiva in calce e canapa su sistema prefabbricato: applicazione ad un caso studio reale e analisi del ciclo di vita (LCA)*, Università di Bologna, Chimica e Tecnologia del Restauro e della Conservazione dei materiali, a.a. 2019/2020, Bologna

3.7 Muratura in calce-canapa

Per le murature in calce-canapa si possono utilizzare i blocchi prefabbricati o la miscela; per quest'ultima viene utilizzato il getto all'interno di casseri a perdere o da rimuovere e necessita di una struttura portante (preferibilmente in legno per evitare processi di ossidazione) che viene annegata nel biocomposito (esempio Figura 3.16). Il composto, caratterizzato da diversi rapporti calce/canapa, viene versato e pressato in pannelli di contenimento, oppure spruzzato su un unico pannello di contenimento. Lo spessore varia da 20 cm a 50 cm e non è necessario applicare pannelli di rivestimento, barriere al vapore, pannelli isolanti o cellulosa; inoltre, volendo, è possibile non intonacare la parte interna, al contrario di quella esterna che deve essere protetta dagli agenti atmosferici.



Figura 3.16: esempio applicazione struttura in legno con isolamento in conglomerato e pannelli di calce-canapa¹³⁹

¹³⁹ **Marco Adriano Perletti**, *Costruire sostenibile con la canapa*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna (RN), gennaio 2020

Per la “fabbricazione in cantiere del getto a cassero” (Figura 3.17), si è soliti miscelare il canapulo con l’acqua ed una volta che questa è stata assorbita si aggiunge la calce, ma a seconda dell’operatore questo procedimento può cambiare, miscelando prima calce e canapulo ed aggiungendo acqua successivamente. Per questa tecnica la densità minima del biocomposito deve essere almeno di 300 Kg/m³ nell’impasto, Gilberto Barcella, della direzione tecnica, ricerca e sviluppo, e commerciale per la Senini srl, suggerisce un rapporto di 2:1:0,1 di calce aerea, canapa e microrganismi probiotici.^{140, 141} La prima fase prevede la creazione del cassero, partendo dal basso, tramite il montaggio dei pannelli, successivamente viene riempito il vuoto con la miscela a mano o con l’aiuto dei macchinari e si pesta il materiale al fine di renderlo omogeneo. Successivamente, si possono rimuovere i casseri e spostarli una fila più in alto e si procede così fino a concludere la parete (Figura 3.18). Il prodotto è autoportante ma non strutturale, perciò, è necessario ancorarlo a elementi portanti. L’utilizzo della miscela ha una tecnica costruttiva vantaggiosa rispetto ai blocchi: dato che la struttura viene avvolta dal calce-canapa diventa un corpo unico e viene preservata nel tempo evitando i ponti termici e le difficoltà nell’ancoraggio; l’applicazione è semplice e veloce e non richiede tagli per l’inserimento degli impianti (che generalmente indeboliscono la struttura, le caratteristiche termo-acustiche ed aumentano i costi di assistenza muraria).¹⁴²

¹⁴⁰ **Gilberto Barcella**, *Canapa e calce. Tra tradizione e innovazione dalla bioedilizia alla neoedilizia*, Dario Flaccovio Editore s.r.l., maggio 2021

¹⁴¹ I microrganismi probiotici Nami aumentano la produzione di CO₂ nell’impasto accelerando i processi di indurimento e di asciugatura del calce-canapa andandone a ridurre le tempistiche

¹⁴² **Marco Adriano Perletti**, *Costruire sostenibile con la canapa*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna (RN), gennaio 2020



Figura 3.17: esempio di un getto in calce-canapa con casseri per la realizzazione di una muratura di tamponamento¹⁴³

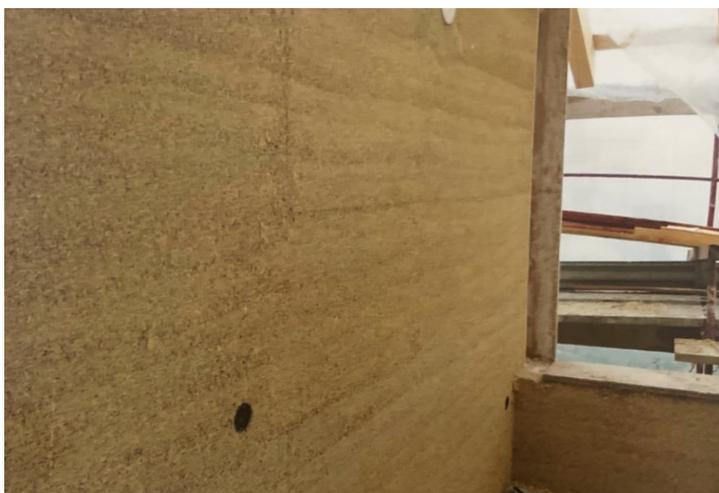


Figura 3.18: muro in conglomerato di calce-canapa¹⁴⁴

La realizzazione di una muratura in calce-canapa può anche avvenire mediante l'utilizzo di blocchi prefabbricati, caratterizzati da specifici quantitativi di calce e di canapa e posati, in modo tradizionale, con una malta a base di calce o calce-canapa (Figura 3.19).¹⁴⁵ Possono essere utilizzati per creare murature di tamponamento di nuova costruzione e di ristrutturazione ed anche in questo caso possono essere autoportanti o non autoportanti.

¹⁴³**Marco Adriano Perletti**, *Costruire sostenibile con la canapa*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna (RN), gennaio 2020

¹⁴⁴**Marco Adriano Perletti**, *Costruire sostenibile con la canapa*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna (RN), gennaio 2020

¹⁴⁵**Gilberto Barcella**, *Canapa e calce. Tra tradizione e innovazione dalla bioedilizia alla neoedilizia*, Dario Flaccovio Editore s.r.l., maggio 2021



Figura 3.19: esempio applicazione blocchi di calce-canapa¹⁴⁶

¹⁴⁶ **Marco Adriano Perletti**, *Costruire sostenibile con la canapa*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna (RN), gennaio 2020

3.8 Interventi sull'esistente

L'Italia viene considerato uno dei paesi più ricchi al mondo, se si prende in considerazione il patrimonio artistico-architettonico, ma il suo valore viene garantito da un buon mantenimento di questo nel tempo. Gli interventi sugli edifici antichi sono spesso molto complessi, in particolare, quando si vuole introdurre un efficientamento energetico, ma proprio quest'ultimo può essere considerato una forma di tutela del patrimonio immobiliare.¹⁴⁷ In Italia secondo i dati ENEA (Agenzia Nazionale Efficienza Energetica)¹⁴⁸ circa il 60% degli edifici nel 2022 era in classe F e G. Questa situazione è in parte dettata dalle tecniche costruttive utilizzate in passato e dal mancato isolamento delle fondazioni, ciò genera spesso problematiche relative all'umidità che possono aumentare con l'intervento eseguito con materiali moderni non traspiranti. Risiedono quindi quattro problematiche principali:

- il mantenimento del valore dell'immobile
- la tipologia di intervento da eseguire (utilizzando materiali specifici che non lo danneggino e che garantiscano una lunga durata)
- lo spazio (in quanto di rado è possibile intervenire sull'esterno per vincoli molto stretti dettati dalla sovrintendenza, mentre intervenire all'interno significherebbe ridurre i metri quadri calpestabili, che in un edificio storico hanno un valore economico importante)

¹⁴⁷Loreto Colombo, *Città Energia. Atti del Convegno Nazionale*, Le Penseur, Via Monte Calvario 40/3 85050 Brienza (Potenza), maggio 2012

¹⁴⁸ENEA Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile, *RAPPORTO ANNUALE EFFICIENZA ENERGETICA 2022*, Via Anguillarese, 301 00123 S. Maria di Galeria – Roma, 2022

- l'inserimento di impianti (che può portare a diverse criticità, in particolare quando si interviene in una muratura composta da pietre).¹⁴⁹

Secondo Gilberto Barcella, specializzato nel restauro e nella costruzione in calce aerea e canapa, queste problematiche possono essere risolte mediante l'utilizzo di questo materiale. Per quanto è stato esposto anche dagli studi dell'Università di Bath, sono necessari pochi centimetri di materiale all'interno del quale è possibile annegare gli impianti senza rompere il muro e risparmiando nei costi; inoltre, essendo un materiale durevole nel tempo, restituisce valore all'immobile e consente di ridurre il consumo energetico (Figura 3.20).¹⁵⁰

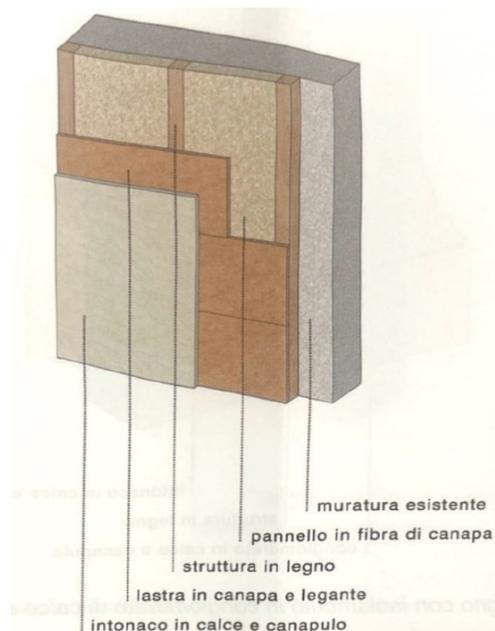


Figura 3.20: esempio schema applicativo del calce-canapa per il restauro¹⁵¹

L'utilizzo del biocomposito per edifici antichi è stato ampiamente studiato anche a Venezia, dove ogni materiale viene particolarmente

¹⁴⁹**Loreto Colombo**, *Città Energia. Atti del Convegno Nazionale*, Le Penseur, Via Monte Calvario 40/3 85050 Brienza (Potenza), maggio 2012

¹⁵⁰**Gilberto Barcella**, *Canapa e calce. Tra tradizione e innovazione dalla bioedilizia alla neoedilizia*, Dario Flaccovio Editore s.r.l., maggio 2021

¹⁵¹**Marco Adriano Perletti**, *Costruire sostenibile con la canapa*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna (RN), gennaio 2020

stressato dalle condizioni locali. In ambienti come quello veneziano, il fenomeno delle subfiorescenze è particolarmente marcato, dove la cristallizzazione di sali in forma idrata – a partire dalla loro forma anidra – ed il conseguente aumento volumico all'interno delle porosità capillari dei materiali provoca spesso fessurazioni e distacchi. Per questo motivo a Venezia, una tra le città più a rischio là dove si parla di patrimonio architettonico italiano, vengono continuamente eseguiti test ed analizzati nuovi e vecchi materiali in grado di resistere alle condizioni ambientali e di conservare e restaurare edifici antichi spesso tutelati. Per il calce-canapa vennero eseguite differenti sperimentazioni, alcune delle quali durarono 8 anni. Per le problematiche relative alle subfiorescenze, la struttura porosa della canapa fa sì che la cristallizzazione dei sali negli spazi interstiziali non induca stress sulle pareti delle porosità stesse, limitando l'ammaloramento. Pertanto, si riconosce la potenzialità nell'utilizzo del biocomposito per il restauro di edifici antichi veneziani. Inoltre, nel corso di pochi anni, questo materiale è stato utilizzato per diverse applicazioni, in particolare sottoforma di miscela per intonaci. Tra gli esempi applicativi si ricorda la ristrutturazione interna di un edificio che fu proprietà del Doge e sull'unico fabbricato rimanente dell'ex complesso monumentale dell'abbazia di San Tommaso dei Borgognoni (la vecchia sacrestia) sull'Isola di Torcello. A Venezia nel 2012 nasce infatti un prodotto per gli intonaci chiamato Natural Beton[®] 500 (perfezionato con l'aggiunta di microrganismi probiotici negli anni successivi), con un rapporto in peso 4:1 tra calce dolomitica e canapulo, sul quale viene consigliato l'applicazione di una finitura in grassello e polvere di canapulo.¹⁵² Come sopra riportato, il calce-canapa può anche essere utilizzato per migliorare l'isolamento termo-acustico di costruzioni antiche, specialmente quelle in pietra, e per ripristinare

¹⁵²**Gilberto Barcella**, *Canapa e calce. Tra tradizione e innovazione dalla bioedilizia alla neoedilizia*, Dario Flaccovio Editore s.r.l., maggio 2021

intonaci e stucchi. Per le riqualificazioni energetiche, sia la miscela che i blocchi risultano ottimali, in quanto hanno la capacità di adattarsi alle oscillazioni termiche e di umidità delle murature esistenti, oltre ad essere estremamente compatibili con i materiali antichi. Un esempio, presentato come caso studio presso il XXX Convegno “Scienza e Beni Culturali” del 2014, ha evidenziato le potenzialità del cappotto in calce-canapa impiegato nella riqualificazione di una baita alpina nel centro storico di Soucheres Basses. Il cappotto in calce-canapa ha permesso di non penalizzare la specificità storica dell’edificio e di produrre un efficientamento energetico. Prima dell’applicazione è stata eseguita una valutazione termotecnica che ha certificato le conformità alle disposizioni di legge ed è stato scelto l’utilizzo del prodotto Calcecanapa®Cappotto di conducibilità termica $\lambda = 0.065$ W/mK. La baita possiede un nucleo originario molto antico (1599) e nel corso degli anni è stata più volte restaurata. Presentava una muratura in pietra di 500 mm e non possedendo grandi potenzialità estetiche si è deciso di utilizzare il sistema a cappotto in calce-canapa, sotto forma di miscela per 200 mm di spessore.¹⁵³ Diversi testi e testimonianze di applicatori riportano l’utilizzo del biocomposito, sia sottoforma di miscela che di blocchi, per la riqualificazione ed il recupero di ruderi in pietra, edifici in muratura mista o in laterizio (Figura 3.21). Pur utilizzando composizioni e tecniche applicative differenti, in generale, quando si esegue un intervento su edifici esistenti, gli operatori utilizzano maggiori accortezze nella preparazione dell’impasto e nella pulizia del supporto rispetto a quando si utilizzano i materiali più comuni.

¹⁵³ **Marina Locandieri, Maria Albonico, Giorgio Garabelli, Maria Rita Minciardi, Angelo Albonico, Paolo Deaglio**, *Termo cappotto calce-canapa a km zero: materiali tradizionali applicati al restauro in funzione delle attuali esigenze abitative e normative, Quale sostenibilità per il restauro? Estratti del 30° convegno di studi. Scienza e Beni culturali, Bressanone 1-4 luglio 2014, Edizioni Arcadia Ricerche, via delle industrie 25/11, Venezia Marghera*



Figura 3.21: particolare di una muratura perimetrale con blocco in calce-canapa applicato sulla muratura esistente¹⁵⁴

Per le riqualificazioni è possibile utilizzare la miscela per la realizzazione di termointonaci: a mano, a macchina, oppure utilizzando un cassero nel quale gettare il biocomposito (Figura 3.22). Spesso, prima di procedere con queste applicazioni, vengono eseguiti dei test con miscele differenti (variando il tipo di calce, la granulometria del canapulo ed il suo quantitativo ed aggiungendo qualora fosse necessario ulteriori componenti) al fine di verificare quale composizione possa essere la soluzione migliore.¹⁵⁵ Essendo un materiale che interagisce molto con l'ambiente circostante, quest'operazione risulta essere importante per poter ottenere il massimo delle prestazioni del biocomposito, in base al contesto nel quale viene applicato.

¹⁵⁴Marco Adriano Perletti, *Costruire sostenibile con la canapa*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna (RN), gennaio 2020

¹⁵⁵Marco Adriano Perletti, *Costruire sostenibile con la canapa*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna (RN), gennaio 2020



Figura 3.22: esecuzione di una controparete di un muro esistente in calce-canapa¹⁵⁶

Per quanto riguarda le malte, diversi studi si sono soffermati sulla possibilità di ricreare malte antiche rivisitandole con l'aggiunta di diversi materiali. Le malte antiche hanno in comune l'utilizzo della calce come legante, per questo sono preferibili per le applicazioni su edifici antichi. Insieme alla calce, in passato, venivano aggiunti aggregati di diverso tipo, talvolta anche molto particolari. A seconda della localizzazione geografica i popoli addizionavano alla calce differenti aggregati: sabbia, conchiglie, frammenti di ferro, ghiaia, cocciopesto, cenere di legno, argilla, la canna di carambola, foglie della pianta di Marshpepper Knotweed, dell'orchidea Bletilla striata; e diversi additivi: amido di riso glutinoso, frutta (polpa di Bel), verdura, olio, resina proveniente dalle cortecce, sangue di maiale, albumi d'uovo, olio di tung, olio di pesce, jaggery, olio di Margosa. Oggi continuano le sperimentazioni per la ricerca di malte ecocompatibili per il restauro, un esempio è proprio la riproduzione di un composto a base di calce e riso glutinoso, come quello utilizzato per la realizzazione della Muraglia Cinese. L'amido di riso glutinoso nelle malte aeree migliora la lavorabilità, la consistenza, la

¹⁵⁶ **Marco Adriano Perletti**, *Costruire sostenibile con la canapa*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna (RN), gennaio 2020

durabilità e la resistenza¹⁵⁷. Il composto originario è stato modificato tramite la sostituzione parziale del legante con metacaolino (25%) e l'aggiunta di canapa. La malta a base di calce e amido di riso glutinoso mostrava delle carenze intrinseche come la contrazione eccessiva in fase di essicamento e una bassa resistenza ai sali ed al gelo sotto cicli di bagnatura ed asciugatura. L'aggiunta del metacaolino ha conferito idraulicità, la riduzione del ritiro, una miglior resistenza meccanica ed ai fenomeni sopra citati ed una miglior consistenza; l'aggiunta di fibre di canapa, oltre ad aver contribuito alla riduzione del rischio di ritiro, ha un effetto rinforzante, ha migliorato le prestazioni ed il composto in generale ha mostrato dei miglioramenti in termini di durata nel processo di invecchiamento (in particolare i cicli di gelo-disgelo). Questa forma rivisitata del calce-canapa viene perciò considerato come una malta che possiede tutte le caratteristiche per poter essere utilizzata come prodotto per il restauro di edifici antichi.¹⁵⁸

¹⁵⁷ Wang Shanwei, Wang Sheliang, Lu Zhe, Meng Zhaobo, Li Binbin, Zhao Nan, *Revamp of the sticky rice-lime binder with metakaolin and natural fiber for restoration: Properties and characteristics*, Journal of cultural Heritage, 1 Settembre 2022

¹⁵⁸ Wang Shanwei, Wang Sheliang, Lu Zhe, Meng Zhaobo, Li Binbin, Zhao Nan, *Revamp of the sticky rice-lime binder with metakaolin and natural fiber for restoration: Properties and characteristics*, Journal of cultural Heritage, 1 Settembre 2022

4. INTERVISTE E PROPOSTA DI LINEE GUIDA PER L'UTILIZZO DEL BIOCOMPOSITO

4.1 Interviste

In questo capitolo si riportano le interviste rivolte agli applicatori del calce-canapa al fine di poter comprendere le motivazioni che lo rendono un materiale ad oggi ancora poco conosciuto e poco utilizzato e proporre alcune linee guida per l'utilizzo che possano aiutare soggetti interessati ad approcciarsi a questo materiale. Prima di contattare gli utilizzatori, è stata definita l'intervista composta da 11 domande che permettessero di affrontare il tema sotto molteplici profili. In particolare, l'intervista è suddivisa in due parti principali: la prima parte intende raccogliere tutte le informazioni in merito all'esperienza degli applicatori di questo materiale: sono state poste delle domande al fine di comprendere in che modo sia avvenuta la conoscenza del biocomposito, da quanto ed in che modo ne avvenga l'utilizzo, quali siano i fattori che contraddistinguono questo materiale (convenienza, vantaggi e svantaggi) e quali siano le motivazioni che lo rendono ancora marginale nel mondo dell'edilizia; la seconda parte affronta invece un caso-studio specifico. Per questa seconda parte, ho avuto modo di poter partecipare direttamente ad alcuni interventi sul cantiere e visionare sia i processi di miscelazione che di applicazione del biocomposito. I cantieri ai quali ho potuto prendere parte sono il n.2, il n.3.1, il n. 4.1 e il n.7. (con riferimento alla figura 4.1).

Attraverso un'apposita indagine nei contesti professionali specifici del settore ho quindi contattato direttamente sette applicatori ai quali ho proposto le mie domande.

La seguente figura 4.1 mostra i soggetti intervistati, la loro età e la qualifica professionale. Ogni numero e colore viene associato ad un

applicatore ed alla relativa applicazione esposta nel caso-studio e si ripete nelle figure successive per tutto il paragrafo. Sono state inserite anche le sperimentazioni eseguite con due degli applicatori, indicate ai punti 3.1 e 4.1. In questo caso specifico abbiamo deciso di realizzare due miscele differenti, analizzarne le caratteristiche ed il comportamento dalla miscelazione all'applicazione monitorando le modificazioni riscontrabili visivamente con una costante attenzione.

	NOME E COGNOME	ETÀ	QUALIFICA PROFESSIONALE
1	Luciano Riberi	63	Artigiano edile e restauratore di beni monumentali
2	Fabio Sanfilippo	50	Artigiano edile
3	Piero Brunello	48	Artigiano edile
3.1	Sperimentazione con Piero Brunello	/	/
4	Ashur Buriani	32	Artigiano e lavoro nell'edilizia
4.1	Sperimentazione con Ashur Buriani	/	/
5	Andrea Valenti	43	Giardiniere e carpentiere
6	Giuseppe Fai Villano	33	Lavoro in bioedilizia
7	Capriolo	42	Artigiano e artista

Figura 4.1: soggetti intervistati, età e qualifica professionale, prodotta dall'autore sulla base delle interviste

Nel seguito sono riportate le 11 domande, seguite da una schematizzazione e sintesi delle risposte fornite dagli intervistati.

**1. Come è venuto a conoscenza del biocomposito calce-canapa?
Come ha appreso le tecniche per l'utilizzo? Da quanto tempo ne esercita l'utilizzo?**

Con queste domande si è voluto indagare quali sono i principali mezzi di informazione dei quali si sono serviti gli applicatori per conoscere il calce-canapa. Nella seguente tabella (figura 4.2) vengono analizzate le quattro voci principali riportate dagli intervistati. Viene inoltre indicato da quanto tempo ne esercitano l'utilizzo.

	BIOEDILIZIA	SPERIMENTAZIONE	PASSAPAROLA	CORSI FORMATIVI	ANNI
1	X	X			12
2		X	X		15
3	X	X			10
4			X		1+
5			X	X	3
6		X	X	X	8
7			X		8

Figura 4.2: mezzi principali attraverso i quali gli applicatori sono venuti a conoscenza del biocomposito, delle tecniche di utilizzo e da quanto tempo ne esercitano l'applicazione, prodotta dall'autore

2. Quanti e quali progetti ha realizzato con questo materiale?

Nella figura 4.3 viene indicato il numero approssimativo dei cantieri eseguiti e le principali tipologie di interventi, al fine di determinare quanto sia comune l'utilizzo del calce-canapa ed in che modo venga maggiormente impiegato.

	N. CANTIERI	TIPOLOGIA DI INTERVENTI ESEGUITI
1	30+	vari: intonaci, termointonaci, murature...
2	7/8	intonaci e termointonaci
3	Vari	termointonaci e rasature
4	Vari	vari: intonaci, pavimenti, isolamento tetti...
5	Vari	vari: intonaci, pavimenti, isolamento tetti...
6	30/40	principalmente termointonaci e cappotti
7	5/6	termointonaci

Figura 4.3: tipologie e numero di interventi eseguiti, prodotta dall'autore

3. L'utilizzo di questo materiale, secondo lei, è conveniente?

La figura 4.4 riporta le risposte degli intervistati suddividendole per tipologia, in quanto si è convenuto durante le interviste che la convenienza fosse troppo generica e dovesse essere valutata separatamente in base a tre fattori: ecologico, prestazionale ed economico.

	ECOLOGICO	PRESTAZIONALE	ECONOMICO
1	SI	SI	≈
2	SI	SI	≈
3	SI	SI	NO
4	SI	SI	NO
5	SI	SI	NO
6	SI	SI	NO
7	SI	SI	≈

Figura 4.4: convenienza del biocomposito, prodotta dall'autore

4. Quali sono, secondo lei, i vantaggi ottenuti dall'applicazione del biocomposito? E gli svantaggi?

Per la realizzazione della tabella rappresentata nella figura 4.5 sono stati elencati nella colonna di sinistra tutti i vantaggi tratti dalle sette interviste e per ogni applicatore sono stati indicati i principali vantaggi riscontrati.

	1	2	3	4	5	6	7
PROPRIETÀ DEUMIDIFICANTI	X						X
DURABILITÀ	X	X	X				X
TRASPIRABILITÀ	X	X	X			X	X
ECOCOMPATIBILITÀ	X	X	X	X	X	X	X
ESTETICA						X	
LAVORABILITÀ		X				X	
PROPRIETÀ TERMICHE ED ACUSTICHE	X	X	X	X	X	X	X
LEGGEREZZA					X		
VERSATILITÀ		X				X	X
SALUBRITÀ E COMFORT ABITATIVO	X	X	X	X	X	X	X

Figura 4.5: vantaggi ottenuti dall'applicazione del biocomposito, prodotta dall'autore

Per la figura 4.6 è stato utilizzato lo stesso procedimento della tabella nella figura 4.5, riportando gli svantaggi riscontrati dall'utilizzo del biocomposito. La prima risposta degli intervistati a questa domanda è stata: “non ne ho ancora trovati”; solo ampliando la risposta, indagando i fattori principalmente economici, è stato possibile determinare alcuni svantaggi.

	1	2	3	4	5	6	7
REPERIBILITÀ	X			X		X	X
TEMPI DI ESSICAMENTO							X
COSTI		X	X		X	X	X
SCARSA CONOSCENZA	X	X	X	X			

Figura 4.6: svantaggi ottenuti dall'applicazione del biocomposito, prodotta dall'autore

5. Qual è, secondo lei, il motivo principale per il quale questo materiale risulta essere ancora poco utilizzato e poco conosciuto?

Nella tabella rappresentata nella figura 4.7 sono indicate le principali motivazioni per le quali, secondo gli applicatori, il calce-canapa risulta essere ancora poco conosciuto ed utilizzato. A questa domanda gli intervistati si sono dimostrati particolarmente interessati ed anche concordi sotto molti aspetti, in particolare sulla mancanza di una filiera di trasformazione della canapa.

	1	2	3	4	5	6	7
MANCANZA DI FILIERA DI TRASFORMAZIONE DELLA CANAPA	X	X	X	X		X	X
SCARSA CONOSCENZA DELLA BIOEDILIZIA	X	X	X	X	X		X
MANCANZA MANDOPERA INFORMATATA	X	X	X				X
MENTALITÀ ANTICA	X	X				X	X
COSTO		X		X	X	X	
DIFFICILE DA REPERIRE		X		X	X	X	X

Figura 4.7: motivi per il quale risulta essere ancora un materiale poco conosciuto e poco utilizzato, prodotta dall'autore

CASI STUDIO

6. In che modo è stato utilizzato il biocomposito? Sottoforma di miscela o di blocchi? Si tratta di un intervento di nuova progettazione o sull'esistente?

Nella figura 4.8 vengono analizzati in contemporanea i casi-studio affrontati durante le interviste con gli applicatori. Vengono evidenziate le tipologie di applicazione utilizzate, la scelta tra l'utilizzo della miscela (quindi di un impasto fresco) o dei blocchi ed il tipo di intervento.

	TIPOLOGIA DI APPLICAZIONE	MISCELA O BLOCCHI	INTERVENTO
1	Getto isolante verticale	miscela	sull'esistente
2	Termointonaco	miscela	sull'esistente
3	Rasatura	miscela	sull'esistente
3.1	intonaco	miscela	sperimentazione
4	Termointonaco	miscela	sull'esistente
4.1	intonaco	miscela	sperimentazione
5	Getto isolante orizzontale per posa lose	miscela	sull'esistente
6	Cappotto esterno e termointonaco interno	miscela	sull'esistente
7	Termointonaco	miscela	sull'esistente

Figura 4.8: casi studio riportati dagli applicatori, prodotta dall'autore

7. Perché ha scelto proprio questo materiale? È stata una sua scelta o della committenza? Com'era la superficie sulla quale è stata utilizzata la miscela? Da quanto tempo è stata applicata?

La figura 4.9 riporta, per mezzo di una tabella, le motivazioni che hanno spinto gli applicatori a prediligere la miscela ai blocchi (intesi in calce-canapa in entrambi i casi) o ad altri materiali ed il soggetto che ha deciso di utilizzare il calce-canapa. Si ricorda, infatti, che in caso di murature (si veda paragrafo 3.7) è possibile impiegare sia blocchi preformati che gettare la miscela fresca in casseri a perdere. L'obiettivo è capire se nei casi-studio sia stata la committenza a conoscere già e quindi richiedere l'impiego del biocomposito suggerendo poi una tipologia di applicazione (miscela o blocchi) oppure se sia stato l'applicatore a convincere la committenza sulla validità dell'utilizzo del medesimo. Si è approfondita infine la natura della superficie esistente nel caso-studio e si è verificata la compatibilità del biocomposito in relazione alla durabilità dell'applicazione.

	PERCHÉ LA MISCELA?	SCelta	SUPERFICIE ESISTENTE	TEMPO PASSATO DOPO L'APPLICAZIONE
1	La preferisco	entrambi	ghiaia, cemento e muratura mista	1 anno
2	Mi appassiona	committenza	antica cascina in pietra	7 anni
3	Sperimentazione	applicatore	intonachino di calce	alcuni anni
3.1	Sperimentazione	entrambi	muratura mista in pietra e laterizio	6 mesi
4	La preferisco	applicatore	muratura mista in pietra e laterizio	1 anno
4.1	Sperimentazione	entrambi	muratura mista in pietra e laterizio	6 mesi
5	È un materiale leggero, isolante ed ecocompatibile	applicatore	legno di castagno	2 anni
6	Mi appassiona	applicatore	esterno in pietra, interno in pietra con 2 cm di intonaco	8 anni
7	Mi appassiona	applicatore	antico intonaco di calce	4 mesi

Figura 4.9: perché è stata scelta la miscela, chi ha deciso di utilizzare il biocomposito, com'era la superficie e da quanto tempo è stata applicata, prodotta dall'autore

8. Come è stata composta la miscela? Quali materiali sono stati scelti e perché?

La seguente tabella rappresentata nella figura 4.10 riporta le singole composizioni delle miscele utilizzate dagli applicatori per i casi-studio riportati al fine di poter determinare le linee guida per la miscelazione. Molti riferiscono di utilizzare frequentemente queste ricette, in particolare canapulo, grassello di calce e acqua sono sempre presenti (fatta eccezione per la sperimentazione indicata al punto 3.1 in cui l'applicatore ha volutamente sperimentato una formulazione diversa da quelle sue consuete). Alcuni intervistati hanno indicato anche le quantità dei singoli prodotti utilizzati con la riserva di variazione delle stesse in base a diversi fattori quali le condizioni atmosferiche, la tipologia di intervento e la superficie esistente.

	CANAPULO	GRASSELLO DI CALCE	SABBIA	NHL5 (CALCE IDRAULICA NATURALE)	GEOLITE	CALCE IDRATA IN POLVERE	PAGLIA	LATTE	AMIDO DI MAIS	MATERIALE PREMISCELATO A BASE DI CALCE, CANAPULO E POZZOLANA	ACQUA
1	110 kg	4-5 sacchi da 25 kg	/	/	/	/	/	/	/	/	variabile
2	3 mastelloni	≈1 sacco da 25 kg	1 pala	≈1 secchio e mezzo	/	/	/	/	/	/	variabile
3	In polvere	si	/	/	/	/	/	/	/	/	variabile
3.1	2 secchi (0-6 mm)	/	/	/	/	5 kg	/	/	3 lt	/	≈1 secchio e mezzo
4	3 mastelloni	1 sacco da 25 kg	si	si	/	/	/	/	/	/	≈1 mastellone
4.1	2 secchi (0-6 mm)	1 secchio	/	/	/	/	/	/	/	/	≈1 secchio
5	si	si	/	si	si	/	si	/	/	/	variabile
6	2 mastelloni	1 sacco da 25 kg	1 o 2 palate	1 secchio	/	/	/	1 tazza	/	/	variabile
7	si	si	/	/	/	/	/	/	/	1 sacco da 25 kg	≈6 lt

Figura 4.10: composizione delle miscele in relazione all'applicazione, prodotta dall'autore

9. Ha avuto qualche particolare accortezza durante la preparazione della miscela?

Nella tabella della figura 4.11 viene approfondita la metodologia di miscelazione dei costituenti di calce-canapa in relazione all'applicazione ed all'applicatore.

ACCORTEZZE NELLA PREPARAZIONE DELLA MISCELA	
1	<ul style="list-style-type: none"> •Immergere il canapulo nel grassello di calce •Prediligere la canapa dioica •Lasciar riposare in big-bag
2	<ul style="list-style-type: none"> •Miscelare la mistura per almeno 10 minuti •Utilizzare un quantitativo maggiore di grassello di calce per le finiture interne •Utilizzare un quantitativo maggiore di calce idraulica per le finiture esterne •Porre attenzione all'aggiunta dell'acqua
3	<ul style="list-style-type: none"> •Porre attenzione all'aggiunta dell'acqua •Sperimentare la miscela e bilanciarla in base alla situazione
3.1	<ul style="list-style-type: none"> •Miscelare il distillato di mais con calce idrata in polvere e acqua, successivamente aggiungere il canapulo •Attendere 10-15 minuti
4	Seguire l'ordine nei passaggi per la miscelazione in betoniera: grassello di calce, acqua, canapulo, calce idraulica e sabbia
4.1	<ul style="list-style-type: none"> •Miscelare acqua con grassello di calce e aggiungere gradualmente il canapulo •Attendere 10-15 minuti
5	Usare una rete in ferro per compensare i movimenti del legno
6	<ul style="list-style-type: none"> •Mettere a mollo in acqua il canapulo per 20 minuti •Miscelare il grassello di calce con la calce idraulica naturale •Mettere in betoniera le calci miscelate, aggiungere il canapulo strizzato poco per volta e infine aggiungere la sabbia •Miscelare per 10 minuti, scaricare la betoniera e attendere almeno altri 10 minuti
7	<ul style="list-style-type: none"> •Porre attenzione all'aggiunta dell'acqua •Aggiungere al premiscelato il grassello di calce ed il canapulo

Figura 4.11: principali accorgimenti nella preparazione della miscela, prodotta dall'autore

10. Come è stato applicato? Ha posto qualche particolare attenzione?

La figura 4.12 riporta in una tabella le metodologie di applicazione utilizzate dagli intervistati per i relativi casi-studio affrontati, al fine di individuare alcune linee guida per l'applicazione. Gli intervistati sono arrivati a definire queste linee guida attraverso la sperimentazione, con lo scopo di non incorrere in criticità e problematiche date da una scarsa conoscenza del comportamento del biocomposito. La tabella è infatti arricchita da alcuni accorgimenti che gli utilizzatori sono soliti ormai replicare per ogni applicazione.

METODOLOGIE DI APPLICAZIONE E PARTICOLARI ACCORTEZZE	
1	<ul style="list-style-type: none"> •Per evitare l'umidità di risalita realizzare uno strato di sughero nei primi centimetri partendo da terra •Creare un'intercapedine con tavole di legno e fissare con piastre di giunzione •Inserire la miscela nell'intercapedine e comprimerla con un pestello •Spostare la plancia e ripetere l'operazione •Per l'ultimo strato (non potendo comprimere il composto) o si realizza una miscela più fluida e si posa come intonaco o si utilizzano pannelli di fibra di canapa •Applicare delle strisce di fibra di vetro sull'orditura e realizzare un termointonaco
2	<ul style="list-style-type: none"> •Coprire le parti in legno •Realizzare 5 centimetri di termointonaco tirando la miscela dal basso verso l'alto con una cazzuola •Attendere 40 giorni prima di realizzare la finitura •Setacciare l'argilla aggiungere 1/3 di inerti e acqua e stendere il composto a mano con una spatola
3	<ul style="list-style-type: none"> •Rivestire il primo metro partendo da terra con pietra o altro •Applicare la miscela a mano con una spatola realizzando più strati
3.1	<ul style="list-style-type: none"> •Pulire la superficie e bagnarla con acqua o acqua di calce •Applicare la miscela a mano con una cazzuola facendo attenzione a non sovraccaricare il materiale specialmente in concomitanza delle pietre attendere 10/15 minuti
4	<ul style="list-style-type: none"> •Pulire la superficie e bagnare con acqua o acqua di calce le superfici in laterizio •Applicare la miscela a mano con la cazzuola
4.1	<ul style="list-style-type: none"> •Pulire la superficie e bagnare con acqua o acqua di calce le superfici in laterizio •Applicare la miscela a mano con la cazzuola facendo attenzione a non sovraccaricare il materiale •Attendere 10/15 minuti •Comprimere con un frattone di legno la miscela applicata
5	<ul style="list-style-type: none"> •Inserire una rete in ferro •Gettare la miscela •Posare le pietre aiutandosi con un martello in gomma
6	<ul style="list-style-type: none"> •Pulire la superficie e bagnarla con acqua o acqua di calce •Realizzare dei fori nella muratura •Applicare con cazzuola e talocchia dal basso verso l'alto cercando di tirare con movimenti ampi una quantità omogenea di calce-canapa
7	<ul style="list-style-type: none"> •Inserire la miscela nel macchinario •Far attenzione a non sovrapporre il materiale •Lisciare con l'aiuto di un frattone

Figura 4.12: modalità e accorgimenti per l'applicazione, prodotta dall'autore

11. Ha riscontrato qualche criticità durante l'applicazione? E dopo?

a. Se sì, sono state risolte? Come?

Quest'ultima tabella (figura 4.13) riporta l'indagine sulle criticità riscontrate dagli applicatori e sulle soluzioni da utilizzare qualora si verificassero. Poiché molti degli applicatori hanno sperimentato a lungo e sperimentano ancora oggi l'utilizzo ed il comportamento del biocomposito, non sono molte le criticità riscontrate. In generale, solo il n.7 ha riscontrato problematiche per il caso-studio in oggetto; il n.2, il n.3 ed il n.6 si riferiscono a problematiche riscontrate in passati interventi.

	CRITICITÀ E SOLUZIONI
1	No
2	Quando si realizza la finitura sul composto non ancora essiccato si possono verificare muffe; perciò, attendo 40 giorni prima di procedere con l'ultimo strato
3	No, se si attendono i tempi di asciugatura. nel caso si verificano crepe, si può velocizzare l'essiccamento con l'utilizzo di deumidificatori e completare con una rasatura finale che le ricopra
3.1	No
4	No
4.1	No
5	No
6	La presenza di salnitro può rovinare l'intonaco e generare muffe o crepe. nel caso fosse presente è necessario scrostare la parete e la parte di pavimento interessata, nebulizzare candeggina ed eseguire nuovamente l'applicazione
7	Utilizzando solo il prodotto premiscelato si sono verificate delle crepe che ho risanato con la rasatura finale, ma aggiungendo grassello di calce e canapulo non si sono più presentate

Figura 4.13: criticità e soluzioni, prodotta dall'autore

IMMAGINI CASO STUDIO 1



Figura 4.14: orditura di legno per getto



Figura 4.15: esecuzione getto in calce-canapa



Figura 4.16: getto in calce-canapa



Figura 4.17: getto in calce-canapa

IMMAGINI CASO STUDIO 2



Figura 4.18: dettaglio muratura esistente



Figura 4.19: dettaglio esterno intonaco di calce-canapa con finitura in argilla



Figura 4.20: dettaglio esecuzione impianti: lo spessore del calce-canapa consente di non dover rompere la muratura per inserire gli impianti



Figura 4.21: dettaglio raffigurante a sinistra lo strato grezzo del calce-canapa e a destra l'intonaco finito in argilla



Figura 4.22: dettaglio raffigurante lo spessore dell'intonaco interno



Figura 4.23: dettaglio raffigurante lo spessore dell'intonaco esterno



Figura 4.24: dettaglio raffigurante una finitura in calce-canapa



Figura 4.25: dettaglio raffigurante la finitura in argilla sul calce-canapa eseguita seguendo l'andamento del muro esterno

IMMAGINI CASO STUDIO 3.1

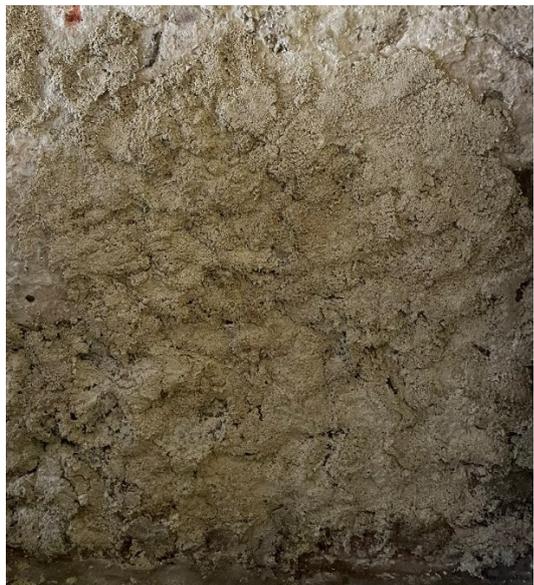


Figura 4.26: primo strato di applicazione del biocomposito di calce-canapa, composto da: calce idrata in polvere, amido di mais, acqua e canapulo

IMMAGINI CASO STUDIO 4.1

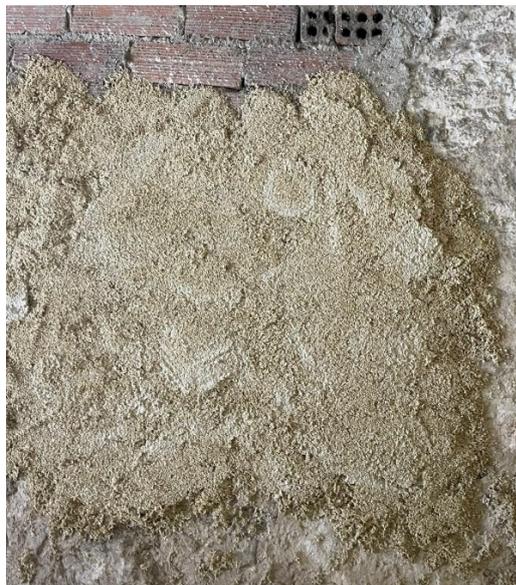


Figura 4.27: applicazione del biocomposito di calce- canapa composto da: grassello di calce, acqua e canapulo

IMMAGINI CASO STUDIO 7



Figura 4.28: le prime due fotografie mostrano l'applicazione esterna del biocomposito in calce-canapa, l'ultima mostra un basso rilievo in calce-canapa

4.2 Analisi critiche e riflessioni

DOMANDA N.1 (riferimento Figura 4.2)

Per questo elaborato sono state intervistate 7 persone prevalentemente residenti in Canavese. Gli intervistati si identificano principalmente come artigiani edili, alcuni di loro sono anche artisti, giardinieri o lavorano già nel campo della bioedilizia. L'età degli intervistati è compresa tra i 32 ed i 63 anni e in media conoscono il calce-canapa da circa 8 anni. La maggior parte di essi ha potuto conoscere e comprendere le potenzialità del biocomposito grazie al "passaparola" tra operatori e conoscenti, altri lavoravano già nel campo della bioedilizia, altri ancora attraverso la sperimentazione e qualcuno per mezzo di corsi formativi (figura 4.29).

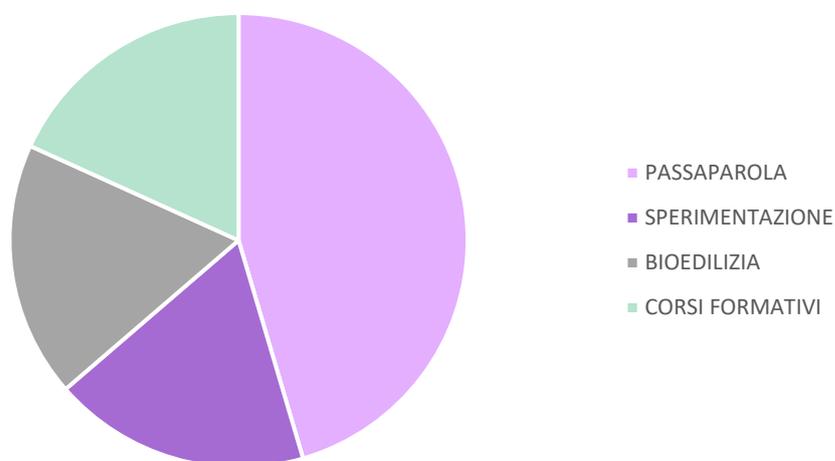


Figura 4.29: come gli intervistati sono venuti a conoscenza del biocomposito, grafico prodotto dall'autore

La suddivisione delle modalità mediante la quale gli applicatori sono venuti a conoscenza del biocomposito ci suggerisce che a fronte di uno scarso interesse generale, è il passaparola tra applicatori e conoscenti il mezzo più utilizzato evidenziando che la conoscenza del calce-canapa nasce principalmente da un interesse personale.

DOMANDA N.2 (riferimento Figura 4.3)

Gli intervistati hanno utilizzato il biocomposito in molti progetti (figura 4.30) riscontrando sempre giudizi positivi da parte della committenza. La miscela di calce-canapa è stata utilizzata per diverse applicazioni ma quella prediletta dalla maggior parte degli operatori è il termointonaco (figura 4.31). Un operatore ha utilizzato la soluzione tramite getto in casseri poiché la ritiene essere più semplice e con minori margini di errore che possano compromettere le prestazioni del biocomposito.

Quantità di cantieri

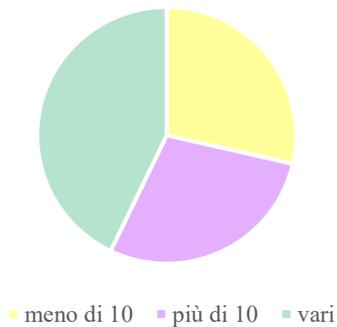


Figura 4.30: grafico rappresentante la quantità di cantieri eseguiti dagli applicatori, prodotto dall'autore

Tipologie di intervento

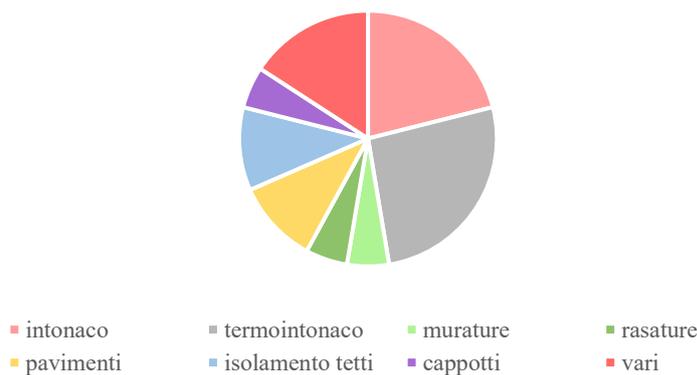


Figura 4.31: grafico rappresentante la tipologia di applicazione maggiormente utilizzata dagli applicatori, prodotto dall'autore

La rilevante quantità di cantieri eseguita dagli applicatori correlata alle risposte positive della committenza in merito ai risultati ottenuti

suggerisce un'ottima padronanza dell'utilizzo del biocomposito e rende credibili ed affidabili le risposte degli operatori. Nonostante la versatilità delle applicazioni che il calce-canapa può avere, la maggior parte delle volte questo viene applicato sottoforma di termointonaco o di intonaco (che nonostante i minimi spessori risulta comunque svolgere un ruolo termico ancorché molto esiguo). La motivazione principale risiede, probabilmente, nel fatto che il termointonaco sia in grado di consentire prestazioni termiche elevate e mantenere le specificità degli edifici esistenti, come spesso richiesto negli interventi sull'esistente.

DOMANDA N.3 (riferimento Figura 4.4)

La convenienza del biocomposito è stata suddivisa in convenienza economica, prestazionale ed ecologica (figura 4.32). Per quanto riguarda le ultime due gli applicatori sono tutti concordi nel definire il calce-canapa un materiale ecologico e dalle prestazioni elevate. In merito alla convenienza ecologica, molti intervistati citano anche l'aspetto naturale del canapulo, che non solo non compromette la qualità dell'aria, ma anzi la migliora, consentendo agli abitanti di vivere in un'ambiente salubre. A questo aspetto si collega la convenienza prestazionale del calce-canapa: gli intervistati riferiscono che le capacità igroscopiche del calce-canapa regolano l'umidità all'interno dell'abitazione e quelle isolanti limitano l'utilizzo di impianti di riscaldamento e condizionamento.

La convenienza economica è invece quella più discussa dagli operatori: molti ritengono che il canapulo sia eccessivamente dispendioso (80 €/mc), e di conseguenza i composti che ne derivano, rispetto ai materiali comuni. Al contrario, altri intervistati, confrontando il biocomposito con materiali ecocompatibili sul mercato, come il sughero (170 €/mc), riscontrano una convenienza economica. Altri ancora ritengono che vi sia sì una convenienza economica ma sul lungo termine, attraverso il

risparmio energetico. Un altro fattore che, secondo gli operatori, incide sulla convenienza dal punto di vista economico è la reperibilità della canapa ad oggi particolarmente difficoltosa.



Figura 4.32: grafici rappresentanti la convenienza ecologica, prestazionale ed economica del calce-canapa, prodotti dall'autore

Più in generale, in merito alla convenienza ecologica, gli intervistati riconoscono che il calce-canapa rispetta i criteri ambientali e può essere riciclato e riutilizzato. La capacità di sequestrare carbonio dall'atmosfera è conosciuta da tutti gli applicatori e viene spesso citato come fattore aggiuntivo e come mezzo per promuovere l'utilizzo del biocomposito. La scelta del tipo di legante utilizzato dagli applicatori non è correlata al fatto che il grassello di calce, materiale che compone in maggior parte la miscela degli applicatori, è uno dei leganti con le emissioni di CO₂

permanenti più basse¹⁵⁹, quanto al fatto che si tratta di un materiale che ha dimostrato le sue potenzialità nei secoli, in particolare in termini di durabilità. Quando si parla di convenienza ecologica, gli applicatori si riferiscono anche alla possibilità di riciclare o riutilizzare il biocomposito senza doversi preoccupare dello smaltimento. Per quanto riguarda la convenienza in merito alle prestazioni che garantisce gli applicatori hanno riscontrato personalmente la validità del biocomposito, in particolare, quando utilizzato come isolante termico e regolatore di umidità negli interventi sull'esistente. Queste prestazioni vengono infatti considerate superiori rispetto a quelle sulla carta quando vengono verificate in un contesto dinamico (ovvero quando il materiale agisce ed interagisce con l'ambiente circostante). La figura 2.3 evidenzia che la tipologia del legante impiegato ha un ruolo importante per quanto riguarda la conducibilità termica. Dato che gli applicatori utilizzano principalmente il grassello di calce, è quindi logico che ottengano una tipologia di biocomposito dal potere isolante superiore rispetto a quelli costituiti in maggioranza da leganti idraulici. La capacità di comportarsi come un volano igrometrico rende il biocomposito ottimale per risolvere problemi di umidità all'interno delle abitazioni¹⁶⁰ e per gli interventi su edifici antichi che spesso ne sono soggetti.

Per quanto riguarda la convenienza economica gli applicatori ritengono per lo più che i costi siano ancora troppo alti, ciò è dovuto alla mancanza di filiere di trasformazione della canapa sul territorio ed alla difficoltà di reperimento del canapulo. Le maggiori quantità di canapulo che si trovano oggi sul mercato non sono di origine italiana ma vengono acquistate da pochi operatori sui mercati esteri e poi commercializzate in Italia, innescando ovviamente l'aumento dei prezzi. Nonostante il costo

¹⁵⁹ **Andrea Rattazzi**, *Conosci il grassello di calce?*, EdicomEdizioni, Monfalcone (Gorizia),2007

¹⁶⁰ **R. Walker, S. Pavia, R. Mitchell**, *Mechanical properties and durability of hemp-lime concretes*, Construction and Building Materials, 2014, Elsevier Ltd

della materia prima sia elevato, per chi lavora nella bioedilizia non è comunque il materiale più caro in assoluto sul mercato, ma risulta comunque un ostacolo per l'ampio utilizzo. Alcuni applicatori giustificano il costo del canapulo anche in relazione alle plurime prestazioni che garantisce ed alla durabilità quando viene unito al grassello di calce: se viene ben applicato, da solo, risolve molte criticità come l'isolamento, i ponti termici, l'umidità e l'utilizzo massiccio di sistemi di riscaldamento e raffrescamento. L'investimento iniziale viene ammortizzato sul lungo periodo attraverso la riduzione dei consumi energetici e la riduzione di altri interventi, rendendolo ottimale per gli interventi sull'esistente.¹⁶¹

¹⁶¹ **Marco Adriano Perletti**, *Costruire sostenibile con la canapa*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna (RN), gennaio 2020

DOMANDA N.4 (riferimento Figura 4.5 e Figura 4.6)

La convenienza del biocomposito può essere approfondita definendo i vantaggi e gli svantaggi che lo caratterizzano: uno schema esplicativo viene rappresentato nella seguente figura 4.33, dove sono stati inseriti tutti i vantaggi e gli svantaggi trapelati dalle interviste con gli applicatori.



Figura 4.33: schema riassuntivo dei vantaggi e degli svantaggi del calce-canapa, prodotto dall'autore sulla base delle interviste agli applicatori

Come si può notare dallo schema, i vantaggi superano di gran lunga gli svantaggi. Tra i vantaggi è possibile notare il potenziale utilizzo come isolante e regolatore igrico che oltre ad un'azione deumidificante porta ad un risparmio energetico e quindi economico. La compatibilità con i materiali antichi, unita alla durabilità, alla capacità di conferire salubrità, al comfort abitativo elevato ed ai vantaggi esposti precedentemente rende il calce-canapa ottimale per il suo utilizzo nei restauri. Le caratteristiche di leggerezza, lavorabilità e versatilità nelle applicazioni consentono di utilizzare il biocomposito in diverse modi: come materiale di riempimento per le eventuali falle che si verificano nelle murature, per eseguire tutti gli strati del termintonaco riducendo la granulometria man mano che si procede verso l'ultimo strato, per ottenere finiture dalla

piacevole qualità estetica; la stessa miscela con granulometrie e proporzioni di legante differenti viene utilizzata per isolare tetti, per isolare murature nelle intercapedini, per eseguire getti, per pavimenti, rasature...Questo fattore ha un risvolto positivo in termini di riduzione degli sprechi: la possibilità di utilizzare un materiale per diverse applicazioni semplifica il processo di produzione dei materiali, limita i costi e gli scarti. L'ecocompatibilità del calce-canapa, per gli applicatori, è principalmente correlata al concetto di utilizzo, riutilizzo e riciclo a fine vita del materiale senza rischio di qualsivoglia forma di inquinamento. Come è stato scritto nel paragrafo precedente il fattore di assorbimento di CO₂ risulta essere molto importante nel settore delle costruzioni in quanto non sono molti i materiali edili con questa capacità e l'utilizzo di un prodotto *carbon footprint negative* migliorerebbe le emissioni totali prodotte nel settore, riducendo inoltre l'impatto ambientale complessivo (come viene mostrato nel paragrafo 2.7). Tra gli svantaggi, invece, si può rilevare una scarsa rapidità nei cicli applicativi; ciò è dovuto ai tempi di essiccamento che, come viene riportato nelle interviste, sono anche una delle cause principali delle criticità che si sviluppano quando non vengono rispettati. La reperibilità ed il costo sono strettamente correlati e legati in particolar modo alla canapa ed alla mancanza di filiere di trasformazione. L'ultimo svantaggio è la mancanza di manodopera informata poiché si richiede uno studio approfondito non solo dei materiali che compongono il calce-canapa ma anche di come questi interagiscono con eventuali aggiunte e con le murature esistenti. Tuttavia, ad oggi le informazioni riguardanti il calce-canapa in realtà sono molteplici ma non vengono opportunamente divulgate e rielaborate al fine di formare nuovi applicatori. Le pubblicazioni e gli articoli scientifici continuano ad eseguire ricerche in merito, ma appunto sembrano fermarsi all'ambito teorico senza raggiungere quello tecnico e pratico.

DOMANDA N.5 (riferimento Figura 4.6 e Figura 4.7)

Secondo gli intervistati il materiale risulta essere ancora poco utilizzato e conosciuto a causa, in parte, degli stessi svantaggi citati precedentemente: la mancanza di una filiera di trasformazione, la scarsa reperibilità, il costo, la mancanza di manodopera informata e la scarsa conoscenza della bioedilizia. Altri fattori che sono stati citati sono la mancanza di divulgazione di informazioni riguardo al suo utilizzo e la mentalità antica che tende a demonizzare a priori la canapa. La seguente Figura 4.34 espone i principali quattro fattori di ostacolo alla conoscenza ed all'utilizzo del biocomposito e in che modo possano essere risolti.

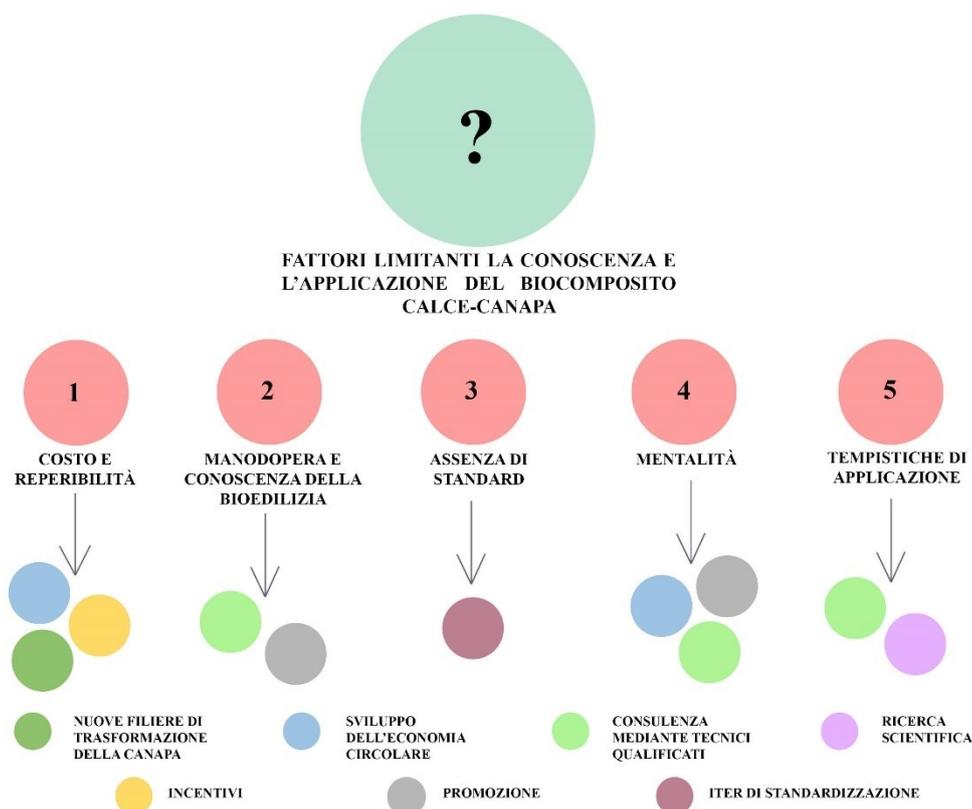


Figura 4.34: mappa concettuale, rappresentante i cinque fattori principali di ostacolo alla conoscenza ed all'utilizzo del biocomposito e relative soluzioni, prodotta dall'autore

Per realizzare la seguente mappa concettuale sono state prese le informazioni dalla Figura 4.6 e dalla Figura 4.7 e sono state rielaborate

suddividendole per argomenti principali. La seguente Figura 4.34 deve essere letta da sinistra verso destra in ordine di rilevanza.

1 COSTO E REPERIBILITÀ

Il primo fattore di ostacolo alla conoscenza ed all'utilizzo del biocomposito è rappresentato appunto dal costo e dalla reperibilità. La principale motivazione di costi elevati e difficile reperimento del canapulo fanno sì che il biocomposito, nonostante le sue innumerevoli proprietà, sia conosciuto ed utilizzato principalmente da alcuni appassionati. Per far ampliare la conoscenza e l'utilizzo del biocomposito il primo passo è ottenere il materiale più facilmente, ad un costo inferiore: per fare ciò una possibile soluzione sarebbe ottenere incentivi da parte degli enti preposti, investire in filiere di produzione e trasformazione della canapa e favorire lo sviluppo di un'economia circolare.

● “Incentivi”

Per favorire l'utilizzo e la conoscenza del calce-canapa è necessario che le aziende interessate possano usufruire di incentivi economici al fine di promuovere l'utilizzo di materiali ecocompatibili e prestazionali, come per esempio: investire nella realizzazione di una nuova filiera di trasformazione della canapa e nel commercio ed utilizzo del biocomposito. Gli incentivi andrebbero anche estesi alle aziende costruttrici ed alla committenza come premio per l'utilizzo di materiali ecocompatibili in grado di ridurre l'impatto ambientale delle costruzioni. Il risultato ottimale potrebbe essere raggiunto se venisse incentivato l'utilizzo nel campo della riqualificazione e del restauro di edifici antichi, elemento che risulta essere molto interessante per il patrimonio edilizio italiano e per l'adempimento alle recenti richieste di efficientamento energetico degli immobili.

● “Nuove filiere di trasformazione della canapa”

Per realizzare il calce-canapa è necessario possedere entrambe le due materie prime. Ad oggi, non è possibile trovare facilmente il canapulo sul nostro mercato e quello presente è spesso un prodotto estero, costoso e talvolta non ben vagliato, perciò gli applicatori, nonostante la conoscenza e la passione del materiale, sono in difficoltà nell’ eseguire gli interventi. Avendo avuto l’occasione di interagire con esperti in questo settore ho potuto comprendere come la mancanza di filiere di trasformazione della canapa in Italia sia probabilmente il principale ostacolo all’ utilizzo del biocomposito. Ad oggi, l’ investimento per l’ acquisto di macchinari appositi è molto elevato, ma attraverso degli incentivi, sarebbe possibile sviluppare più filiere di trasformazione della canapa ed ottenere quindi il canapulo necessario alla composizione del biocomposito. Lo sviluppo di filiere di trasformazione della canapa produrrebbe ricchezza sul territorio e renderebbe il canapulo accessibile e meno costoso così da facilitarne l’ acquisto e l’ utilizzo nelle costruzioni. Una rete di produzione tra aziende agricole e filiere di trasformazione genererebbe inoltre nuovi posti di lavoro e contribuirebbe così alla divulgazione della conoscenza dei materiali a base di canapa e del calce-canapa. Questo aspetto è stato più volte citato dagli intervistati con particolare interesse non solo per l’ aspetto economico relativo al costo della canapa ma anche per lo sviluppo del territorio. In questo caso l’ attenzione era ovviamente per il Canavese, che secondo molti pare derivare proprio dalla pianta della canapa. Si crede infatti che molti anni fa questo luogo ospitasse diverse piantagioni e che la canapa venisse utilizzata in diverse modalità. Essendo una pianta che può essere utilizzata in molti settori (da quello tessile, a quello alimentare, a quello cosmetico, a quello edile...) potrebbe contribuire allo sviluppo di nuove filiere di mercato sul territorio, coinvolgendo molte aziende e generando una maggiore ricchezza territoriale.

● “Sviluppo economia circolare”

“L’economia circolare è un modello di produzione e consumo che implica condivisione, prestito, riutilizzo, riparazione, ricondizionamento e riciclo dei materiali e prodotti esistenti il più a lungo possibile. In questo modo si estende il ciclo di vita dei prodotti, contribuendo a ridurre i rifiuti al minimo. Una volta che il prodotto ha terminato la sua funzione, i materiali di cui è composto vengono infatti reintrodotti, laddove possibile con il riciclo. Così si possono continuamente riutilizzare all’interno del ciclo produttivo generando ulteriore valore.”¹⁶²

Il calce-canapa è un materiale che può essere riciclato e riutilizzato (si veda il paragrafo 2.7), rallenta l’utilizzo di risorse naturali, sottrae CO₂ e potrebbe contribuire a generare una nuova economia sul territorio. Il fatto che il calce-canapa sviluppi il concetto di economia circolare favorisce la reperibilità del materiale e l’abbassamento dei costi in quanto materiale “di seconda mano”. Inoltre, lo sviluppo di materiali innovativi come il calce-canapa contribuirebbe a creare competitività nel nostro mercato producendo un aumento di posti di lavoro e favorendone la conoscenza.

2 MANODOPERA E CONOSCENZA DELLA BIOEDILIZIA

Una volta che le condizioni economiche e di reperibilità siano state affrontate, il secondo passaggio è la formazione e la conoscenza. Questi due fattori sebbene separati dagli applicatori sono strettamente correlati perciò sono stati trattati come uno solo. Formare la manodopera in modo tale che possa conoscere ed applicare il calce-canapa nei migliori dei modi è un processo lungo se si pensa che la maggior parte della

¹⁶² Portavoce: **Jaume Duch Guillot**, Direzione generale della Comunicazione, *Economia circolare: definizione, importanza e vantaggi*, 25-05-2023, Parlamento Europeo, RIF.: 20151201STO05603

committenza e degli utilizzatori sta iniziando ora ad avvicinarsi al mondo della bioedilizia. Attraverso la promozione, la collaborazione e la possibilità di ottenere una consulenza da tecnici qualificati è possibile formare gli applicatori ed incentivarne l'utilizzo.

● “Promozione”

La promozione tramite siti web, articoli e pubblicità amplierebbe la conoscenza della bioedilizia e quindi del calce-canapa favorendo la richiesta del prodotto da parte della committenza e informando aziende costruttrici e artigiani della possibilità e l'importanza di utilizzare un materiale ecocompatibile e dalle molteplici prestazioni ed applicazioni.

● “Consulenza mediante tecnici qualificati”

Negli ultimi anni sono stati pubblicati diversi articoli che confermano le eccellenti proprietà del calce-canapa; tuttavia, il nostro Paese si mostra ancora arretrato nel campo della bioedilizia ed in particolare nella divulgazione e nell'utilizzo del calce-canapa. La pubblicazione di articoli, quindi, non basta a far conoscere il biocomposito nel settore edilizio poiché viene percepito come un materiale di “nicchia”. Secondo gli intervistati è necessario un intermediario tra le pubblicazioni scientifiche e l'applicazione manuale che possa trasmettere le informazioni ad artigiani e progettisti fornendo appunto un servizio di consulenza tecnica. Una delle mancanze espresse dagli applicatori è, infatti, che la composizione della miscela e l'applicazione sono state sperimentate più volte al fine di comprenderne le caratteristiche, poiché non è facilmente reperibile un soggetto di riferimento in grado di fornire assistenza pratico/teorica. Questa figura ridurrebbe il rischio di criticità e garantirebbe sicurezza all'applicatore ed alla committenza per l'ottimizzazione delle prestazioni a cui conseguirebbe la possibilità di effettuare corsi di formazione in cui esporre le proprietà, le caratteristiche e le modalità di miscelazione ed applicazione ai

professionisti del settore, imprese edili, applicatori e commercianti, ampliando così la rete di conoscenza e favorendo lo scambio di idee ed esperienze.

3 ASSENZA DI STANDARD

L'assenza di standard di miscelazione ed applicazione del calce-canapa rappresenta un fattore limitante nell'utilizzo di questa tecnica ecologica e sostenibile. La mancanza di linee guida chiare per la preparazione e l'applicazione della miscela può portare a risultati eterogenei e incostanti. Ciò influisce negativamente sulla qualità e l'affidabilità delle strutture costruite con questa metodologia, rendendo difficile la replicabilità dei risultati. Inoltre, questa situazione può scoraggiare l'adozione diffusa di questa tecnica da parte di professionisti e committenti.

● “Iter di standardizzazione”

Creare delle linee guida standard specifiche che possano essere applicate più facilmente dagli utilizzatori, come per esempio, è stato fatto in Francia dalla Tradical® aiuterebbe a colmare le mancanze in merito all'utilizzo del calce-canapa. Nel paragrafo 4.3 sono proposte alcune linee guida per la miscelazione e per l'utilizzo del calce-canapa in relazione alla tipologia di intervento da eseguire al fine di offrire una possibile soluzione all'assenza di standard.

4 MENTALITÀ

Dopo aver reso il materiale competitivo dal punto di vista economico, ottenuto una buona reperibilità del prodotto, aver formato la manodopera e predisposte le basi per la determinazione di linee guida standard è

necessario creare una “nuova mentalità”. Con questo concetto si vuole sostituire la “mentalità antica” citata dagli intervistati che possiede una duplice lettura: la mentalità antica dei prodotti utilizzati negli anni passati e ancora prediletti oggi, preconfezionati, a base di sostanze nocive e sintetiche; e quella riferita all’accezione negativa della canapa in quanto sostanza psicotropa.

● “Promozione”

In questo caso la promozione del calce-canapa mediante le divulgazioni di informazioni che possano trasformare la mentalità antica in una nuova mentalità svolge un ruolo fondamentale. La nuova mentalità si riferisce ad un risparmio economico sul lungo termine e a prediligere il comfort abitativo. Applicando il calce-canapa, sebbene i costi attuali e immediati possano essere superiori, i benefici sono totali e data la durabilità del materiale, il risparmio economico avviene nel lungo periodo con una riduzione dei consumi energetici. La nuova mentalità fa riferimento anche al concetto di “salubrità degli ambienti”: molti degli intervistati hanno riportato questa caratteristica in quanto la ritengono estremamente importante per la salute.

● “Sviluppo economia circolare”

Molti degli intervistati si sono mostrati particolarmente contrariati dall’esecuzione dei cappotti eseguita con il bonus 110% proprio perché i materiali utilizzati, che certamente hanno una funzione isolante, non consentono un buon ricircolo d’aria e non essendo per la maggioranza prodotti ecocompatibili la riqualificazione non può considerarsi “sostenibile”; inoltre, per la maggior parte sono prodotti che non potranno essere riciclati o riutilizzati. Lo sviluppo di un’economia circolare necessita un cambio di mentalità da parte degli applicatori e della committenza. Sviluppare quindi l’economia circolare produrrebbe

un cambio di mentalità mettendo in luce i materiali come il calce-canapa e favorendone l'interesse e l'utilizzo.

● “Consulenza mediante tecnici qualificati”

La divulgazione di informazioni da parte di soggetti qualificati aiuterebbe il cambio di mentalità. In primis per quanto riguarda l'accezione negativa della canapa come sostanza psicotropa: come abbiamo visto nel capitolo 1, la pianta di canapa si suddivide in tre specie e quella utilizzata per il biocomposito, come per altri prodotti industriali, l'unica legalmente coltivabile in Italia, è la Canapa Sativa L. con un tenore di THC (tetraidrocannabinolo, il composto responsabile dell'effetto stupefacente della canapa) inferiore allo 0,2%, argomento controverso per chi non conoscendo il materiale tende ad escluderlo a priori. In secondo luogo, il consulente riferirebbe le qualità del calce-canapa utilizzato per la riqualificazione energetica della quale necessitano molte abitazioni del nostro Paese.

5 TEMPISTICHE DI APPLICAZIONI

Per ultimo si affronta il tema delle tempistiche: al calce-canapa, a differenza dei materiali tradizionali, occorre più tempo per l'essiccamento che se non venisse rispettato nei giusti termini potrebbe comportare diverse problematiche come muffe e condense. La committenza e gli applicatori ad oggi sono abituati a materiali dall'azione immediata, che possono essere lavorati subito ed in grado di essiccare nel breve termine; il calce-canapa al contrario possiede delle tempistiche che vanno rispettate sia nel momento della miscelazione che nell'applicazione. I due fattori che possono contribuire alla risoluzione di questa problematica sono la ricerca scientifica e la consulenza mediante tecnici qualificati.

● “Ricerca scientifica”

Molti autori di pubblicazioni scientifiche sperimentano il miglioramento del biocomposito in particolare al fine di cercare di migliorare la resistenza meccanica; sarebbe interessante produrre una sperimentazione con lo scopo di ridurre i tempi di essiccamento del calce-canapa, così da rendere più rapide le fasi di lavorazione.

● “Consulenza mediante tecnici qualificati”

Durante le interviste ho compreso come questi operatori siano entrati nel mondo del calce-canapa principalmente attraverso il “passaparola” o la sperimentazione (solo qualcuno aveva esperienza nella bioedilizia e aveva avuto l’occasione di partecipare a corsi formativi). L’aspetto più interessante è come, nonostante i diversi approcci, ognuno di loro ha dovuto sperimentare più volte il prodotto per comprenderne le caratteristiche, alcuni non conoscevano le motivazioni per il quale questo materiale aveva un certo comportamento: l’hanno studiato “praticandolo”. Non vi sono molte persone, ad oggi, in grado di rispondere ai quesiti degli applicatori; quindi, una figura esperta dal punto di vista scientifico/prestazionale ed applicativo potrebbe rispondere alle domande, divulgando la moltitudine di articoli pubblicati che ad oggi, probabilmente, non sono stati trasmessi o resi accessibili agli utilizzatori. Alcuni degli intervistati riferiscono di aver avuto occasione di partecipare a corsi di formazione con alcuni tecnici esperti, ma i corsi risultano essere rari e spesso di difficile accessibilità dal punto di vista logistico: nel nostro caso, gli operatori si sono infatti recati nelle Marche e in Umbria, il che non ne facilita la conoscenza.

DOMANDA N.6 E N. 7 (riferimento Figura 4.8 e Figura 4.9)

Per la realizzazione di murature, nonostante la possibilità di utilizzare anche i blocchi, tutti gli intervistati prediligono l'utilizzo della miscela di calce-canapa da gettare in casseri a perdere (paragrafo 3.7), quasi sempre composta interamente da loro ed applicata sempre per un restauro, una riqualificazione o un recupero. La maggior parte delle volte, negli esempi riportati, la scelta di utilizzare il calce-canapa è stata dell'applicatore che, talvolta, fungeva da committenza, ma durante le interviste sono stati anche approfonditi progetti di committenza esterna. Le tipologie di applicazione utilizzate vengono rappresentate dalla Figura 4.35.

TIPOLOGIA DI APPLICAZIONE

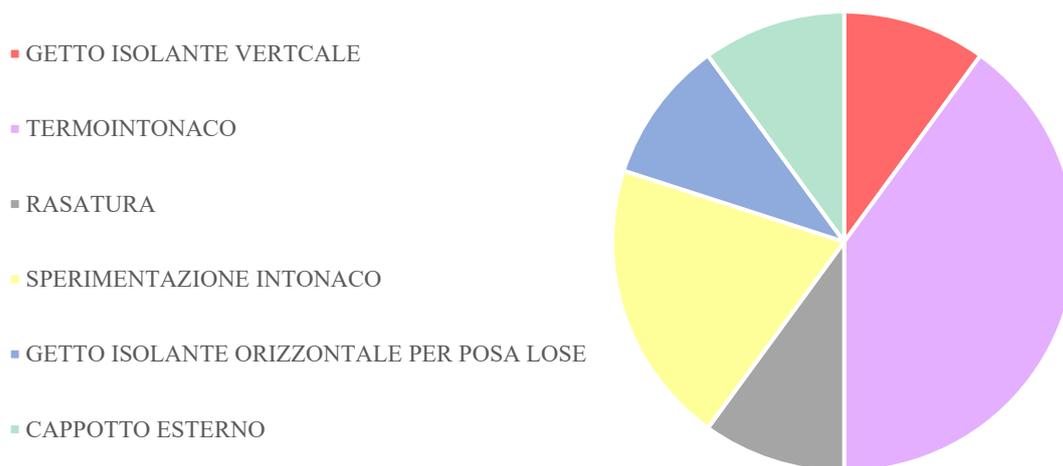


Figura 4.35: grafico rappresentante le tipologie di applicazione analizzate nei casi-studio, prodotta dall'autore

Le principali informazioni riguardo alla tipologia di miscelazione e applicazione del calce-canapa, si riferiscono agli intonaci, e spesso ai termintonaci. La scelta degli applicatori di utilizzare la miscela anziché i blocchi scaturisce principalmente da una passione nei confronti del materiale, è anche vero però che tramite una miscela direttamente composta dagli applicatori, se si conosce il calce-canapa, è possibile bilanciarla in relazione alle condizioni ambientali ed alla superficie

d'applicazione; inoltre, a livello ecologico sono preferibili dato che è stato dimostrato nello studio di Di Capua et al.¹⁶³ che le emissioni prodotte dalle murature realizzate con la miscela di calce-canapa sono inferiori a quelle prodotte dalle murature in blocchi di calce-canapa. Prediligere la miscela consente di monitorarne costantemente il comportamento ed è molto importante al fine di poter ottenere il massimo delle prestazioni e non incorrere in criticità. Utilizzare il calce-canapa come termointonaco e cappotto possiede molti vantaggi, tra i quali la riduzione dei consumi e delle dispersioni termiche, l'eliminazione dei ponti termici e la possibilità di formazione di muffe o condense ed il miglioramento del comfort abitativo. Ciò è possibile grazie anche alla facilità con la quale si realizzano termintonaci di notevoli spessori; infatti, durante l'esperienza in cantiere solo con il primo strato sono stati realizzati 3 centimetri abbondanti di calce-canapa mediante applicazione con cazzuola, ma teoricamente si possono realizzare anche spessori maggiori¹⁶⁴. Si è scelto principalmente di investigare sui casi dove l'applicatore era anche committente perché molti di loro, essendo appassionati, hanno tenuto sotto controllo il comportamento del biocomposito per poterne studiare le caratteristiche e poterne verificare le prestazioni in prima persona. Durante le interviste sono stati approfonditi anche casi di committenza esterna, ma la maggior parte delle volte gli intervistati riferiscono di essere loro stessi a convincere la committenza sulle prestazioni del calce-canapa. Alcuni applicatori riportano che la conoscenza della bioarchitettura e del calce-canapa stia comunque crescendo in Italia, portando anche la committenza a richiederlo come elemento fondamentale.

¹⁶³ Salvatore Emanuele DI CAPUA, Luisa PAOLOTTI, Elisa MORETTI, Lucia ROCCHI, Antonio BOGGIA, *Evaluation of the Environmental Sustainability of Hemp as a Building Material, through Life Cycle Assessment*, Environmental and Climate Technologies, 2021

¹⁶⁴ Marco Adriano Perletti, *Costruire sostenibile con la canapa*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna (RN), gennaio 2020

L'indagine è proseguita verso l'analisi della muratura esistente, in relazione al tempo passato dall'applicazione, al fine di verificare la compatibilità del biocomposito su edifici esistenti di differenti composizioni. Le applicazioni eseguite su pietra e su pietra ed intonaco sono quelle dove si può facilmente verificare la compatibilità del calcecanapa e si può constatare la durabilità del materiale posato in quanto il tempo trascorso dall'applicazione è maggiore. Ho potuto verificare direttamente l'applicazione eseguita 7 anni fa su pietra, attestando l'assenza di criticità (n.2). Per quanto riguarda la muratura mista i dati sono i più recenti tra quelli analizzati e in specie ho potuto seguire personalmente le sperimentazioni e posso testimoniare non abbiano ad oggi presentato alcuna criticità. L'applicazione eseguita 4 mesi fa (n.7) su intonaco di calce in una prima fase presentava crepe dovute al ritiro del materiale ma a seguito del bilanciamento della miscela da parte dell'applicatore ad oggi non manifesta più alcuna problematica. Uno degli intervistati ha riferito l'importanza nel far attenzione all'applicazione del biocomposito in ruderi dove vivevano animali. Gli escrementi degli animali insieme all'umidità di risalita concorrono alla formazione di salnitro (nitrato di potassio) generando efflorescenze, da eliminare dalla muratura per evitare la formazione di muffe e/o condense e lo sgretolamento dell'intonaco.

DOMANDA N.8 e N. 9 (riferimento Figura 4.10 e Figura 4.11)

Tutti gli operatori sono soliti modificare la composizione della miscela, tuttavia nei casi-studio esaminati (eccetto n.3.1, nel grafico seguente in colore grigio), come nelle altre applicazioni che sono soliti eseguire, il grassello di calce, il canapulo e l'acqua sono sempre presenti (Figura 4.37).

Composizione miscele

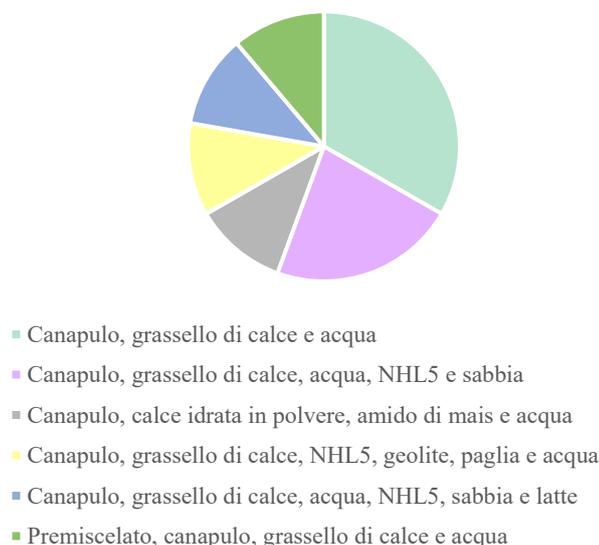


Figura 4.37: grafico rappresentante le composizioni delle miscele utilizzate per i casi-studio, prodotta dall'autore

La composizione della miscela varia in relazione alla tipologia di utilizzo, come descritto nel capitolo 3, le proporzioni di legante e canapulo utilizzate per isolare un tetto sono differenti da quelle utilizzate per il getto di una muratura. Durante le sperimentazioni n.3.1 e n.4.1 e nelle applicazioni n.2 e n.7, che ho potuto seguire in cantiere, sono state utilizzate 4 diverse composizioni; nonostante ciò, non vi sono grandi differenze nei risultati ottenuti ad eccezione di una lavorabilità del composto inferiore nell'impasto di calce idrata in polvere, amido di mais e canapulo. I quantitativi d'acqua aggiunti erano invece molto differenti: il giorno delle sperimentazioni (n.3.1 e n.4.1) il clima era umido e

piovoso, perciò, il canapulo ha subito assorbito l'acqua presente nell'ambiente e non ha necessitato di ulteriori aggiunte, mentre entrambi i giorni delle applicazioni (n.2 e n.7) erano particolarmente caldi e quindi è stata aggiunta una quantità maggiore di acqua (più volte) dato che il materiale risultava eccessivamente secco per quel tipo di applicazione. Oggi, sul mercato è possibile trovare anche prodotti premiscelati e uno degli intervistati (n.7) ne ha utilizzato uno, ma nel momento dell'applicazione ha riscontrato di dover aggiungere acqua, canapulo e grassello di calce per migliorarne l'utilizzo. Gli intervistati avendo appreso molte informazioni mediante la sperimentazione hanno avuto l'occasione di studiare anche le varie composizioni delle murature di edifici esistenti, comprendendo come dover modificare la miscela in relazione al caso. Ogni applicatore nella Figura 4.11 ha riportato anche le accortezze che utilizza e ha utilizzato nei casi-studio per miscelare il biocomposito; quelle maggiormente riscontrate sono:

- porre attenzione al quantitativo d'acqua
- aggiungere il canapulo al grassello di calce e non viceversa (perché altrimenti il canapulo resta sul fondo e rende più complessa la miscelazione),
- miscelare per almeno 10 minuti e far riposare il materiale prima dell'applicazione.

Risulta comunque difficile poter unificare il processo di miscelazione e definire le dosi precise delle componenti poiché il materiale viene composto in relazione alle competenze degli applicatori. Molti di loro hanno sperimentato a lungo ricercando la composizione e le dosi perfette da utilizzare in ogni occasione, ma la verità che si evince da ognuno di loro è che non è possibile standardizzare, al pari dei prodotti in polvere, la composizione della miscela perché questo materiale si considera

“vivo”, ovvero agisce ed interagisce con gli abitanti e con l’ambiente circostante. L’informazione più interessante che è stata colta da quest’esperienza è quanto sia importante la formazione teorica e pratica dell’operatore sul comportamento dei materiali che compongono il biocomposito perché, per mezzo di queste, è possibile usufruire della versatilità del calce-canapa ed ottenere il massimo delle prestazioni da ogni applicazione. Se i mezzi per poter ottenere questa conoscenza venissero implementati sicuramente sarebbe più semplice approcciarsi all’utilizzo del calce-canapa e trarre i molteplici vantaggi che ne comporta la sua applicazione.

DOMANDA N. 10 E 11 (riferimento Figura 4.12 e Figura 4.13)

Le tipologie di applicazione variano in relazione alla tipologia di intervento eseguito; la Figura 4.12 mostra, infatti, il procedimento e le accortezze utilizzate da ogni applicatore per il relativo caso-studio. Per ogni intervento è stato eseguito uno studio preliminare della muratura ed alcuni operatori hanno inoltre eseguito delle sperimentazioni così da preparare la miscela nel modo più accurato. Le murature esistenti sono state preparate con acqua e acqua di calce mediante l’utilizzo di un pennello e una scopa, successivamente si è dato inizio all’applicazione. Un applicatore soltanto ha riscontrato criticità nel caso-studio esposto, gli altri hanno riferito alcune problematiche affrontate nel corso degli anni in altre applicazioni e le modalità con la quale sono state risolte. Non essendoci particolari differenze nelle metodologie d’applicazione in relazione alla tipologia di intervento eseguito si riportano nella Figura 4.38 alcune direttive comuni tratte dalle esperienze personali sul cantiere e dalle interviste per la preparazione e l’applicazione del biocomposito.

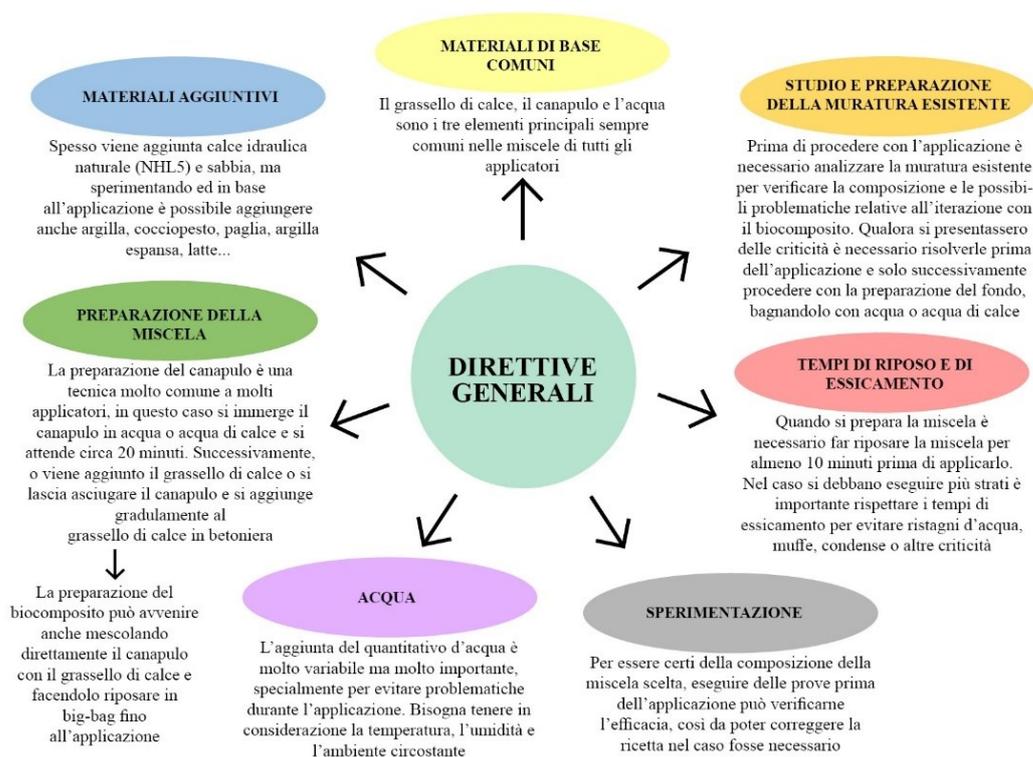


Figura 4.38: schema rappresentante le direttive comuni agli applicatori nella preparazione ed applicazione del biocomposito, prodotto dall'autore

Escludendo la tipologia di applicazione da eseguire (a getto, a mano o a spruzzo), la metodologia con la quale viene applicato risulta abbastanza comune. Nell'utilizzo del calce-canapa come intonaco o termointonaco, la maggior parte degli intervistati ha dichiarato di preferire l'applicazione manuale con cazzuola e talocchia: infatti il movimento meccanico manuale consente di far fare presa più velocemente al biocomposito. Procedere per strati in questo caso è fondamentale al fine di far asciugare il biocomposito in modo tale da non incorrere in ristagni d'acqua che possano in un secondo momento portare alla formazione di muffe o crepe. Uno degli artigiani (tra i massimi esperti del settore), Luciano Riberi, ha identificato la metodologia più semplice per utilizzare il calce-canapa, in particolare per l'applicazione attraverso getto in casseri. Il suo concetto si basa sulla "semplificazione", ovvero, più è semplice la tecnica costruttiva, meno errori si possono compiere nell'applicazione. Egli prepara il composto miscelando il grassello di calce con il canapulo,

lasciandolo riposare fino all'utilizzo e aggiungendo la quantità d'acqua necessaria fino ad ottenere un prodotto semisecco; per l'applicazione è sufficiente realizzare un'orditura di legno e far scorrere un pannello di legno, nell'intercapedine formata si inserisce il biocomposito, si costipa con un pestello e si ripete l'operazione. Dovendo tenere in considerazione molti fattori, la ricetta del calce-canapa non può essere definita in modo completo. L'applicatore deve conoscere il comportamento del grassello di calce, della canapa, dei leganti aggiuntivi (ad esempio, la calce idraulica naturale, tipo NHL5), degli aggregati, degli additivi (se vengono aggiunti), della superficie sulla quale viene applicato e del clima, così da poter bilanciare la miscela in base alla situazione. Si può concludere che non sia un materiale semplice e standard, ma la sua versatilità può considerarsi un punto di forza, poiché attraverso una conoscenza completa è possibile risolvere molte problematiche relative agli interventi sulle costruzioni esistenti, con la conseguente valorizzazione, contribuendo a migliorare il benessere abitativo, utilizzando un materiale ecocompatibile dalle prestazioni termo-acustiche importanti e a sottrarre anidride carbonica dall'ambiente.

4.3 Linee guida per la preparazione e l'applicazione del biocomposito

A seguito delle interviste sono state definite alcune linee guida per la preparazione della miscela di calce-canapa in funzione delle differenti applicazioni indagate nei casi-studio. Come descritto nella figura 4.34 l'assenza di standard costituisce un limite all'utilizzo del biocomposito, perciò, in questo paragrafo si è cercato di determinare le giuste proporzioni tra le componenti per la realizzazione di alcune applicazioni. Per la stesura delle seguenti linee guida sono stati utilizzati gli studi scientifici eseguiti nei capitoli precedenti, le interviste degli applicatori ed alcune sperimentazioni personali. Per ottimizzare la praticità dell'applicazione i rapporti sono espressi in volumi, in questo caso è stato utilizzato un secchio graduato come riferimento.

La Figura 4.39 riporta i dosaggi e le tecniche di miscelazione ed applicazione per il getto in casseri verticale. Questa metodologia risulta essere tra le più semplici e più veloci per ottenere grandi spessori. Spesso è prediletto l'utilizzo di strutture portanti in legno per ottenere sistemi completi dal punto di vista della bioedilizia ma può essere accoppiato anche a strutture portanti in laterizio, acciaio e cemento armato, in quanto si adatta a tutte le superfici. Può essere applicato sia per nuove costruzioni che per interventi di ristrutturazione e riqualificazione: la composizione della miscela risulta infatti idonea anche per essere gettata all'interno delle intercapedini degli edifici esistenti. In questo caso il dosaggio dell'acqua è relativo all'utilizzo di grassello di calce in sacchi, che ne presenta già un quantitativo sufficiente per la miscelazione, nel caso si utilizzasse grassello di calce sfuso se ne consiglia l'aggiunta in rapporto di 0.6 rispetto alle altre componenti.

GETTO IN CASSERI PER STRUTTURE VERTICALI	
Rapporti delle componenti principali per la miscela	
Grassello di calce in sacchi	2
Canapulo di granulometria grossa o mista	2
Acqua	0
Miscelazione	
Miscelare prima il grassello di calce in betoniera, successivamente aggiungere il canapulo poco per volta fino ad ottenere un composto semisecco omogeneo (circa 10-15 minuti)	
Riporre la miscela in big bag chiusi e lasciar riposare (anche un giorno intero)	
Preparazione del supporto	
Ripulire la superficie da impurità e polveri	
Inumidire uniformemente con acqua di calce	
Creare un'intercapedine con tavole ed assi di legno in base alle misure scelte e fissarle con piastre di giunzione	
Applicazione	
Realizzare il primo strato in pannelli di sughero da 3 cm per evitare le risalite d'acqua	
Gettare la miscela a mano o con l'ausilio di un macchinario	
Costipare la miscela con un pestello	
Spostare la plancia di legno in alto e ripetere l'operazione	
Negli ultimi 10-15 cm realizzare una miscela con un maggior quantitativo d'acqua al fine di poter tirare la miscela con la cazzuola, in alternativa si possono utilizzare pannelli di fibra di canapa	
Rimuovere la plancia e lasciar essiccare 40 giorni	
Applicare delle strisce di fibra di vetro sull'orditura di legno	
Realizzare una miscela a base di grassello di calce e canapulo ed applicare come termointonaco per 2-5 centimetri	
Per la finitura attendere 40 giorni, all'esterno prediligere NHL5	
Avvertenze	
Nel caso fosse necessario impedire l'assorbimento di acqua e di aria, aggiungere 12 kg di NHL5 per ogni sacco da 25 kg di grassello di calce aggiunto	
La composizione di questa miscela può anche essere gettata nelle intercapedini esistenti	
Prediligere la canapa dioica alla monoica	
I tempi di essiccamento sono variabili in base alle condizioni ambientali, il composto potrebbe essiccare anche più velocemente, ma eseguire la finitura sul composto ancora umido potrebbe generare muffe e sgretolamento dell'intonaco	
Evitare la posa con temperature inferiori a +5°C e superiori a +30°C o su supporti gelati o in fase di disgelo, inoltre nelle 24 ore successive al completamento non deve subire gelate	
Il quantitativo d'acqua è variabile in base alle condizioni ambientali, in questo caso la temperatura media era di 21°C e l'umidità era al 70% circa	

Figura 4.39: linee guida per la preparazione di una miscela in calce-canapa da applicare nel getto in casseri, prodotta dall'autore

La Figura 4.40 espone invece le linee guida per l'utilizzo del biocomposito come termointonaco interno. In questo caso si presentano i dosaggi per una tipologia di termointonaco, ma come si evidenzia nei paragrafi precedenti la composizione della miscela può variare ed essere modificata in relazione al risultato che si vuole ottenere ed alle condizioni presenti. In questo caso in particolare si sottolinea che per il termointonaco interno l'aggiunta di NHL5 non è necessaria, a meno che non vi sia l'esigenza di proteggere il materiale dall'acqua come avviene invece all'esterno. Il rapporto di acqua da aggiungere alla miscela è indicativo per due ragioni:

- quando il canapulo viene messo in ammollo in acqua, viene successivamente strizzato ed in questa fase una percentuale di acqua viene comunque aggiunta al composto (a meno che non lo si lasci essiccare prima di aggiungerlo)
- come specificato nella tabella il dosaggio dell'acqua è stato eseguito alla temperatura di 21°C ed all'umidità del 70% circa, può perciò variare qualora le condizioni siano differenti

L'applicazione analizzata è quella meccanica ma si sottolinea il fatto che la miscela può essere anche spruzzata mediante appositi macchinari. In questo caso le regole per l'applicazione non si discostano da quelle meccaniche mediante cazzuola e talocchia ed anche i tempi di essiccamento risultano i medesimi. Per ottenere il massimo delle prestazioni si consiglia di eseguire un primo strato con le proporzioni indicate all'inizio della tabella e successivamente aumentare il contenuto di canapulo per l'applicazione successiva in modo tale da aumentare il potere isolante del termointonaco. L'ultimo strato invece può essere applicato mediante le linee guida espone nella Figura 4.42.

TERMONTONACO	
Rapporti delle componenti principali per la miscela	
Grassello di calce in sacchi	6
Canapulo	5
Acqua	≈0.4
NHL5	Se è necessario 0.2
Sabbia	0.6
Miscelazione	
Mettere in ammollo in acqua il canapulo per 20 minuti	
Miscelare in betoniera il grassello di calce, l'acqua e NHL5	
Strizzare il canapulo e aggiungerlo a mano a mano in betoniera	
Aggiungere la sabbia	
Miscelare per circa 10 minuti il composto fino a quando non risulterà gonfio	
Scaricare la betoniera e attendere circa 30 minuti	
Preparazione del supporto	
Eseguire dei fori nella muratura con un trapano	
Bagnare la superficie con acqua di calce	
Applicazione	
Tirare il composto con cazzuola e talocchia eseguendo ampi movimenti e procedere dal basso verso l'alto	
Attendere 15 minuti circa	
Ripetere l'operazione fino a quando non si sarà ottenuto lo spessore desiderato. In questa fase per aumentare il potere isolante utilizzare 3 parti di grassello di calce, 3.5 di canapulo, 0.2 di acqua, (0.15 di NHL5) e 0.3 di sabbia	
Attendere 30 minuti e successivamente premere con un frattone in legno in modo tale da rendere la superficie omogenea	
Attendere 40 giorni prima di eseguire la finitura	
Avvertenze	
Evitare la posa con temperature inferiori a +5°C e superiori a +30°C o su supporti gelati o in fase di disgelo, inoltre nelle 24 ore successive al completamento non deve subire gelate	
Porre attenzione nel non sovraccaricare il materiale mentre viene tirato perché potrebbe staccarsi	
Rispettare i tempi di essiccamento per evitare distacchi o muffe e condense	
Il quantitativo d'acqua è variabile in base alle condizioni ambientali, in questo caso temperatura media di 21°C e umidità al 70% circa	
Per rendere il composto più lavorabile è possibile aggiungere 1 bicchiere di latte a betoniera	

Figura 4.40: linee guida per la preparazione di tre miscele in calce-canapa da applicare come termointonaco, prodotta dall'autore

Nella Figura 4.41 si riportano le linee guida per la realizzazione di un cappotto esterno con la miscela di calce-canapa. Per semplificare l'applicazione vengono proposte delle linee guida che non si differenziano in particolar modo dalla composizione della miscela per il termointonaco interno. L'unica differenza si manifesta nel cercar di proteggere maggiormente la muratura in quanto soggetta al contatto con l'ambiente esterno e perciò viene aumentato il quantitativo di NHL5; per le stesse ragioni è inoltre possibile eseguire un rivestimento in pietra o altri materiali nella zoccolatura. Per ulteriore protezione è anche possibile eseguire una finitura composta da grassello di calce, inerti ed argilla o in calce idraulica naturale.

CAPPOTTO ESTERNO	
Rapporti delle componenti principali per la miscela	
Grassello di calce in sacchi	6
Canapulo	5
Acqua	0.6
NHL5	≈2.5
Sabbia	0.6
Miscelazione	
Mettere in ammollo in acqua il canapulo per 20 minuti	
Miscelare in betoniera il grassello di calce, l'acqua e NHL5	
Strizzare il canapulo e aggiungerlo a mano a mano in betoniera	
Aggiungere la sabbia	
Miscelare per circa 10 minuti il composto fino a quando non risulterà gonfio	
Scaricare la betoniera e attendere circa 30 minuti	
Preparazione del supporto	
Eeguire dei fori nella muratura con un trapano	
Bagnare la superficie con acqua di calce	
Applicazione	
Rivestire la zoccolatura con pietra o con un pannello di 3 centimetri in sughero nero bollito o canucciato per evitare l'umidità risalita (da inglobare nel termointonaco)	
Tirare il composto con cazzuola e talocchia eseguendo ampi movimenti e procedere dal basso verso l'alto	
Attendere 15 minuti circa e ripetere l'operazione fino a quando non si sarà ottenuto lo spessore desiderato	
Attendere 30 minuti e successivamente premere con un frattone in legno in modo tale da rendere la superficie omogenea	
Attendere 40 giorni prima di eseguire la finitura (con un quantitativo di calce idraulica naturale superiore)	
Avvertenze	
Evitare la posa con temperature inferiori a +5°C e superiori a +30°C o su supporti gelati o in fase di disgelo, inoltre nelle 24 ore successive al completamento non deve subire gelate	
Porre attenzione nel non sovraccaricare il materiale mentre viene tirato perché potrebbe staccarsi	
Rispettare i tempi di essiccamento per evitare distacchi o muffe e condense	
Il quantitativo d'acqua è variabile in base alle condizioni ambientali, in questo caso temperatura media di 21°C e umidità al 70% circa	
Per rendere il composto più lavorabile è possibile aggiungere 1 bicchiere di latte a betoniera	

Figura 4.41: linee guida per la preparazione della miscela da applicare come cappotto esterno

Nella Figura 4.42 si riportano invece le linee guida per la realizzazione di intonaci di finitura interna, in questo caso è consigliabile un quantitativo superiore di grassello di calce per ottenere una buona lavorabilità e massima traspirabilità. Anche in questo caso l'acqua contenuta nei sacchi di grassello di calce è sufficiente per la miscelazione ma viene indicato comunque un quantitativo di 0.2 da aggiungere rispetto alle altre componenti, qualora vi fossero temperature più alte e umidità inferiori.

INTONACI DI FINITURA INTERNA	
Rapporti delle componenti principali per la miscela	
Grassello di calce in sacchi	4
Canapulo fine o polvere di canapulo	1
Acqua	0
Miscelazione	
Porre in betoniera il grassello di calce e aggiungere a mano a mano miscelando il canapulo	
Aggiungere l'acqua all'impasto fino ad ottenere un composto omogeneo	
Lasciar riposare il composto in betoniera anche una notte e miscelare nuovamente la mattina prima dell'applicazione	
Aggiungere nuovamente acqua se il composto risulta eccessivamente secco	
Preparazione del supporto	
Proteggere gli elementi in legno	
Bagnare la superficie con acqua di calce	
Applicazione	
Realizzare più strati a mano con una spatola, in modo tale da far asciugare interamente il biocomposito	
Avvertenze	
Evitare la posa con temperature inferiori a +5°C e superiori a +30°C o su supporti gelati o in fase di disgelo, inoltre nelle 24 ore successive al completamento non deve subire gelate	
Nel caso si dovesse eseguire all'esterno, rivestire la zoccolatura in pietra o in altri materiali o realizzare una finitura in calce idraulica naturale così da proteggere la muratura.	
Il quantitativo d'acqua è variabile in base alle condizioni ambientali, in questo caso temperatura media di 21°C e umidità al 70% circa	
Assicurarsi che la superficie sulla quale verrà eseguita l'applicazione sia essiccata per evitare la formazione di muffe o condense	
Eseguire un test per visionare che il composto non sia eccessivamente umido o secco e bilanciarlo	

Figura 4.42: linee guida per la preparazione di una miscela in calce-canapa da applicare come rasatura, prodotta dall'autore

La Figura 4.43 espone invece le linee guida per l'utilizzo del biocomposito per getti orizzontali. I dosaggi della miscela sono leggermente differenti in quanto si aumenta il contenuto di NHL5 al fine di poter supportare gli eventuali carichi. In questo caso le accortezze principali risiedono nella pulizia del supporto da polveri ed impurità e nell'utilizzo di materiali che mantengano la traspirabilità del biocomposito permettendo all'umidità di fuoriuscire.

GETTO ORIZZONTALE	
Rapporti delle componenti principali per la miscela	
Grassello di calce in sacchi	2
Canapulo	1
Acqua	0.4
NHL5	1
Miscelazione	
Mettere in ammollo in acqua il canapulo per 20 minuti	
Miscelare in betoniera il grassello di calce, l'acqua e NHL5	
Strizzare il canapulo e aggiungerlo a mano a mano in betoniera	
Miscelare per circa 10 minuti il composto fino a quando non risulterà gonfio	
Scaricare la betoniera e attendere circa 10 minuti	
Preparazione del supporto	
Ripulire da polveri ed impurità la superficie	
Applicazione	
Posizionare gli impianti ed eventuali reti	
Gettare la miscela e livellare (si consigliano spessori di circa 15-20 centimetri)	
Attendere 10 giorni prima di eseguire il rivestimento	
Avvertenze	
Evitare la posa con temperature inferiori a +5°C e superiori a +30°C o su supporti gelati o in fase di disgelo, inoltre nelle 24 ore successive al completamento non deve subire gelate	
Il quantitativo d'acqua è variabile in base alle condizioni ambientali, in questo caso temperatura media di 21 gradi e umidità al 70% circa	
È importante, qualsiasi tecnica si utilizzi che l'umidità possa evaporare	
Se necessario è possibile inserire prima del getto una rete in ferro o filamenti in paglia da annegare nella miscela	
Dopo circa 10 giorni è possibile applicare diverse tipologie di rivestimento come piastrelle, parquet, lose...	

Figura 4.43: linee guida per la preparazione di una miscela in calce-canapa da applicare orizzontalmente

Conclusioni

Dalle analisi eseguite nei primi capitoli emergono le numerose qualità che caratterizzano il biocomposito di calce-canapa e lo rendono un materiale eccellente in molteplici ambiti. In particolare, si evidenzia il suo enorme potenziale nell'applicazione per la riqualificazione di edifici esistenti.

Il biocomposito di calce-canapa offre prestazioni termiche, acustiche ed igroscopiche eccellenti, generando un notevole miglioramento nel comfort abitativo, una maggiore salubrità degli ambienti e una significativa riduzione dei consumi energetici. Inoltre, esso si dimostra resistente al fuoco e perfettamente compatibile con gli edifici esistenti. La possibilità di migliorare le resistenze meccaniche e la durabilità delle fibre in ambiente alcalino tramite l'aggiunta di materiale pozzolanico, come il metacaolino, offre ulteriori opportunità di sviluppo. Tuttavia, va sottolineato che il biocomposito di calce-canapa, al momento, non possiede ancora le prestazioni necessarie per svolgere funzioni strutturali. Un altro vantaggio significativo del calce-canapa è la sua ecocompatibilità poiché risulta essere decisamente meno impattante dei materiali comunemente utilizzati e contribuisce a sottrarre anidride carbonica dall'ambiente, classificandosi come un prodotto "*carbon footprint negative*".

Le interviste condotte con gli applicatori hanno permesso di approfondire le diverse tipologie di applicazione e miscelazione nonché le motivazioni che rendono ancora poco conosciuto e utilizzato il biocomposito di calce-canapa. Gli applicatori hanno conosciuto il materiale principalmente attraverso il passaparola e utilizzano il calce-canapa sotto forma di miscela, specialmente per la realizzazione di termintonaci sul costruito storico. L'esperienza pluriennale ha consentito loro di comprendere le

potenzialità e le criticità del materiale e di sviluppare metodi di miscelazione ed applicazione adatti a ciascun tipo di intervento. Nonostante le notevoli caratteristiche fisico-meccaniche ed ecologiche, il biocomposito di calce-canapa presenta alcune sfide come il costo, la reperibilità, la necessità di manodopera informata, l'assenza di standard ed i tempi di applicazione e di essiccamento, che ne limitano l'utilizzo più diffuso.

Al fine di favorire l'adozione del calce-canapa come materiale per la riqualificazione degli edifici esistenti, suggeriamo alcune strategie: stanziare incentivi economici, sviluppare una nuova filiera di trasformazione della canapa per renderla più facilmente disponibile, promuovere la formazione delle maestranze con corsi dedicati e promuovere una cultura che ponga maggiore attenzione ai materiali ecocompatibili. Inoltre, è necessario promuovere la standardizzazione dell'utilizzo del calce-canapa e sfruttare le ricerche scientifiche e la consulenza di tecnici qualificati per migliorare ulteriormente le sue prestazioni e ridurre i tempi di applicazione ed essiccamento. Nel tentativo di standardizzare la composizione del biocomposito di calce-canapa, sono state condotte delle sperimentazioni direttamente in cantiere. Questi test pratici, uniti alle conoscenze scientifiche e tecniche, hanno fornito importanti dati e indicazioni utili per stabilire le proporzioni ottimali delle componenti della miscela. Queste sperimentazioni hanno permesso di acquisire una maggiore comprensione delle reazioni del materiale in situazioni reali e hanno contribuito a proporre linee guida per l'utilizzo del calce-canapa nei diversi contesti edilizi. L'integrazione delle sperimentazioni in cantiere con le conoscenze scientifiche ha permesso di sviluppare linee guida pratiche e concrete per l'utilizzo del calce-canapa, contribuendo così a superare le barriere iniziali che ne limitavano l'adozione diffusa.

In conclusione, il calce-canapa è un materiale isolante, versatile, ecocompatibile e quindi ideale per gli interventi sull'esistente. Affrontando le sfide attuali, il suo utilizzo potrebbe diventare sempre più diffuso, contribuendo in modo significativo alla conservazione ed alla riqualificazione degli edifici esistenti, ed alla promozione di pratiche edilizie sostenibili.

Bibliografia

Andrea Rattazzi, Alessandro Battaglia, Vassili Kafetsis, *Terra, fuoco, acqua, aria: la calce*, Ermes. Servizi Editoriali Integrati S.r.l., Ariccia (RM), Ottobre 2011

Andrea Rattazzi, *conosci il grassello di calce? origine, produzione e impiego del grassello in architettura*, nell'arte e nel restauro, EdicomEdizioni, Monfalcone (Gorizia), 2007

Angelozi V., *Una nuova soluzione costruttiva in calce e canapa su sistema prefabbricato: applicazione ad un caso studio reale e analisi del ciclo di vita (LCA)*, Università di Bologna, Chimica e Tecnologia del Restauro e della Conservazione dei materiali, a.a. 2019/2020, Bologna

A. Arrigoni, C. Colombo, *LCA DI MATERIALI ISOLANTI IN CALCECANAPULO PER EDILIZIA SOSTENIBILE*, Archivio istituzionale della ricerca- Università dell'Insubria, 2014

A. Miller, K. Ip, *Life cycle greenhouse gas emissions of hemp-lime wall constructions in the UK*, Resources, Conservation and Recycling, 2012

A.M. Omeme Ada1, A. D. Tran Le, H. Toifane P. Tittlein, L. Zalewski, E. Antczak, O. Douzane, T. Langlet, *Hygrothermal performance of hemp lime concrete embedded with phase change materials for buildings*, 8th International Building Physics Conference (IBPC 2021)

A. Ruus, T. Koosapoe, M. Pau, T. Kalamees and M. Põldaru, *Influence of production on hemp concrete hygrothermal properties: sorption, water vapour permeability and water absorption*, Journal of Physics: Conference Series 2069 (2021) 012004

Bevan R., Woolley T., *Hemp lime construction – A guide to building with hemp lime composites*, IHS BRE press, 2008

Bouloc P, Allegret S, Arnaud L., *Le chanvre industriel: production et utilisations*. France: France Agricole; 2006

Caiolo E., *“L'integrazione di materiali compositi a base di canapa e calce nell'edilizia nepalese”*, Tesi di laurea magistrale in Architettura per il Progetto Sostenibile, Politecnico di Torino, Relatore Arch. Bosia., 2018/2019

Colombo C, Ruggieri O., *Edilizia a basso impatto ambientale: Analisi del ciclo di vita di materiali naturali a base di calce canapulo*, Politecnico di Milano, Facoltà di Ingegneria per l'Ambiente e il territorio, a.a. 2011/2012, Milano

Criado, Yolanda A., Abanades, J. Carlos, *Carbonation Rates of Dry Ca(OH)₂Mortars for CO₂ Capture Applications at Ambient Temperatures*, American Chemical Society, 12 Ottobre 2022

David Pearlmuttera, Dimitra Theocharib, Thomas Nehlsc, Pedro Pinhod, Patrizia Piroe, Alisa Korolovaf, Spiros Papaefthimioug, Mari Carmen Garcia Mateoh, Cristina Calheirosi, Irene Zluwaj, Ulrike Pithaj, Paul Schosselerk, Yaakov Florentinl, Shahar Ouannoul, Erez Galm, Andreas Aichern, Killian Arnoldo, Erika Igondováp and Bernhard Pucherq, *Enhancing the circular economy with nature-based solutions in the built urban environment: green building materials, systems and sites*, Blue-Green Systems Vol 2 No 1, 2020

Dr Mike Lawrencea, Dr Enrico Foddeb, Dr Kevin Painea, Prof. Pete Walkerd, *Hygrothermal performance of an experimental hemp-lime building*, BRE Centre for Innovative Construction Materials, University of Bath, Bath, BA2 7AY, United Kingdom, 2012

ENEA Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile, *RAPPORTO ANNUALE EFFICIENZA ENERGETICA 2022*, Via Anguillarese, 301 00123 S. Maria di Galeria – Roma, 2022

Ergenç Duygu, Fort Rafael, Santos Silva António, Veiga Rosário, Sanz Arauz David, *The effects of DiloCarB as carbonation accelerator on the properties of lime mortars*, Materials and structures, 2018

Fabien Delhomme, Elodie Prud'homme, Clara Julliot, Tina Guillot, Sofiane Amziane, Sandrine Marceau, *Effect of hemp on cement hydration: Experimental characterization of the interfacial transition zone*, Results in Chemistry, 2022

Gianpietro Venturi, Stefano Amaducci, *Canapa: una coltura antica in una prospettiva moderna, Giornata di studio: "Aggiornamenti e prospettive per la coltura della canapa"*, estratto da I GEORGOFILI-QUADERNI-2003-II, Accademia dei Georgofili, Firenze 2004

Gilberto Barcella, *Canapa e calce*, Dario Flaccovio Editore s.r.l., maggio 2021

Grand View Research, *Dimensione del mercato della canapa industriale, relazione sull'analisi delle quote e delle tendenze per prodotto (semi, fibre, trucioli), per applicazione (cura degli animali, tessuti, alimenti e bevande, materiali da costruzione, cura della persona), per regione e previsioni di segmento, 2023-2030*, 2023

Jay H. Arehart, William S. Nelson, Wil V. Srubar III, *On the theoretical carbon storage and carbon sequestration potential of hempcrete*, Journal of Cleaner Production, 2020

Kinnane, O., Reilly, A., Grimes, J., Pavia, S., & Walker, R, *"Acoustic absorption of hemp-lime construction"*, 2016, Construction and Building Materials

Leger A., *Traité des travaux publics, les mines e la métallurgie aux temps des Roman*, 1857

Loreto Colombo, *Città Energia. Atti del Convegno Nazionale*, Le Penseur, Via Monte Calvario 40/3 85050 Brienza (Potenza), maggio 2012

Luca Zampori, Giovanni Dotelli, and Valeria Vernelli, *Life Cycle Assessment of Hemp Cultivation and Use of Hemp-Based Thermal Insulator Materials in Buildings*, Department of Chemistry, Materials, and Chemical Engineering "G. Natta", Politecnico di Milano, INSTM RU-POLIMI p.zza L. da Vinci 32, 20133 Milano, Italy

Luis Sánchez-Barba, *Characterization and Provenance of Lime Plasters From the Templo Mayor of Tenochtitlan (Mexico City)*, Archaeometry, 2011

Marco Adriano Perletti, *Costruire sostenibile con la canapa*, Maggioli Editore, gennaio 2020

Marco Pollione Vitruvio, *De Architettura*

Marina Locandieri, Maria Albonico, Giorgio Garabelli, Maria Rita Minciardi, Angelo Albonico, Paolo Deaglio, *Termo cappotto calce-canapa a km zero: materiali tradizionali applicati al restauro in funzione delle attuali esigenze abitative e normative, Quale sostenibilità per il restauro? Estratti del 30° convegno di studi. Scienza e Beni culturali*, Bressanone 1-4 luglio 2014, Edizioni Arcadia Ricerche, via delle industrie 25/11, Venezia Marghera

- Matteo Gastaldi, Luca Bertolini**, *Introduzione ai materiali per l'architettura*, De Agostini Scuola Spa, Novara, 2011
- Muhammad Pervais, Mohini M. Sain**, *Carbon storage potential in natural fiber composites*, Resources, Conservation and Recycling, Novembre 2003
- M.P. Boutin, C. Flamin, S. Quinton, G. Gosse**, *Etude Des Caracteristiques Environnementales Du Chanvre Par l'analyse De Son Cycle De Vie*, Republique francaise, Ministere de l'Agriculture et de la Peche, 2006
- M.P. Sáez-Pérez, M. Brümmer, J.A. Durán-Suárez**, *A review of the factors affecting the properties and performance of hemp aggregate concretes*, Journal of Building Engineering 31, 2020
- Paolo Ranalli**, *La canapa Miglioramento genetico, sostenibilità, utilizzi, normativa di riferimento*, Edagricole – Edizioni Agricole di New Business Media srl» via Eritrea 21 – 20157 Milano, 2020
- Paolo Ronchetti**, *The barriers to the mainstreaming of lime-hemp: a systemic approach*, ach, MSc Dissertation, Dublin Institute of Technology, School of Spatial Planning, Dublin, Ireland 2007
- Paolo Ronchetti**, *Il cemento di canapa e calce: un promettente materiale e metodo di costruzione per l'edilizia sostenibile*
- Paolo Ronchetti, P. Daly**, *Hemp Lime Bio-composite as a Building Material in Irish Construction*, 2012
- Pasquale Cucco**, *Dalla Conservazione Integrata di Amsterdam (1975) all'Integrated Approach to Cultural Heritage (2020). Nuove prospettive nello scenario di cambiamenti globali*, EdA Esempi di Architettura, October 2020, Department of Civil Engineering, University of Salerno, Fisciano, Italy
- Patrick Daly (BESRaC), Paolo Ronchetti (BESRaC), Tom Woolley (Consultant)**, *Hemp Lime Bio-composite as a Building Material in Irish Construction*, Environmental Protection Agency, PO Box 3000, Johnstown Castle, Co. Wexford, Ireland, 2012
- Paulien Strandberg-de Bruijn, Anna Donarelli, Kristin Balksten**, *Full-scale Studies of Improving Energy Performance by Renovating Historic Swedish Timber Buildings with Hemp-lime*, Applied sciences, 2019.
- Perlett M.A.**, *Costruire sostenibile con la canapa*, Maggioli Editore, 2020
- Peter Booth and Ljubomir Jankovic**, *Novel biodesign enhancements to at-risk traditional building materials*, Frontiers in Built Environment, 03 October 2022
- Ponzoni L, Sorek Y**, "Coltivare l'architettura sostenibile"
- Prannoy Suraneni**, University of Miami, United States, Booth Peter, Jankovic Ljubomir, *021Novel biodesign enhancements to at-risk traditional building materials*, Frontiers Media S.A., 3 Ottobre 2022
- Przemysław Brzyski, Grzegorz Łagód and Zbigniew Suchorab**, *Properties of a thermal-insulating wall material based on hemp shives and lime binder*, AIP Conference Proceedings 2170, 020004, 05 Novembre 2019

- P. B. Strandberg-de Bruijn and K. Balksten**, *Energy and moisture in historic masonry walls retrofitted with hemp-lime*, Series: Materials Science and Engineering 660 (2019) 012070
- P. Glé, E. Gourdon, L. Arnaud, K.-V. Horoshenkov, and A. Khan**, “*The effect of 584 particle shape and size distribution on the acoustical properties of mixtures of 585 hemp particles*,” J. Acoust. Soc. Am., Dec. 2013.
- Redouane Zerrouki, Amar Benazzouk, Matthieu Courty, Haikel Ben Hamed**, *Potential use of matakaolin as a partial replacement of preformulated lime binder to improve durability of hemp concrete under cyclic wetting/drying aging*, Construction and Building Materials, Available online 9 April 2022 0950-0618/© 2022 Elsevier Ltd
- Rosa Agliata, Alfonso Marino, Luigi Mollo and Paolo Pariso**, *Historic Building Energy Audit and Retrofit Simulation with Hemp-Lime Plaster—A Case Study*, Sustainability 2020, 12, 4620
- R. Bevan, T. Woolley**, *Constructing a low energy house from hempcrete and other natural materials*, 11th International Conference on Non-conventional Materials and Technologies (NOCMAT) 6-9 September 2009, Bath, UK, 2009
- R. Stasi, S. Paterno, A. Stragapede, S. Liuzzi, P. Stefanizzi**, *A nearly Zero Energy Building in Mediterranean climate: a case study in Mesagne (Apulia)*, Materials Science and Engineering 609 (2019) 072021
- R. Walker, S. Pavia, R. Mitchell**, *Mechanical properties and durability of hemp-lime concretes*, Construction and Building Materials, 2014, Elsevier Ltd
- Salim Barbhuiya, Bibhuti Bhusan Das**, *A comprehensive review on the use of hemp in concrete*, Construction and Building Materials, available online 18 May 2022 0950-0618/© 2022 Elsevier Ltd. A
- Salvatore Emanuele DI CAPUA, Luisa PAOLOTTI, Elisa MORETTI, Lucia ROCCHI, Antonio BOGGIA**, *Evaluation of the Environmental Sustainability of Hemp as a Building Material, through Life Cycle Assessment*, Environmental and Climate Technologies, 2021
- Steven Wishnia**, *La Cannabis. Proprietà, storia, impieghi, folklore*, L’Airone Editrice, Roma, 2004
- Sylvie Pretot, F. Collet, C. Garnier**, *Life cycle assessment of a hemp concrete wall: impact of thickness and coating*, Building and Environment 72, 2014
- Tanja Dettmering and Shibing Dai**, *Types of lime binders in mortars used for the construction of the Ming Great Wall of China and their importance for the development of a conservation strategy*, Built Heritage, 2 Febbraio 2022
- Tarun Jami, S.R. Karade, L.P. Singh**, *A review of the properties of hemp concrete for green building applications*, Journal of Cleaner Production 239 (2019) 117852
- Vandana Loka Prakash, R. Ravi**, *Usage of hemp and vetiver blended with lime as natural additives to reduce greenhouse gas emissions*, Journal of Physics: Conference Series, 2021
- V. A. M. Luprano, P. Aversa., C. Tripepi, A. Marzo, B. Daniotti, G. Dotelli, S. Sabbadini, A. Rogora**, *Componenti edili con prestazioni energetiche ottimizzate per i climi mediterranei e basati su miscele di calcecanapulo*, Enea- Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l’energia e lo sviluppo economico sostenibile, Ministero dello sviluppo economico, settembre 2018

V. Cerezo,” *Propriétés mécaniques, thermiques et acoustiques d’un matériau à base de particules végétales: approche expérimentale et modélisation théorique.*” Ecole doctorale MEGA, Lyon, 2005.

V. Nozahic, S. Amziane, *Vers des betons de chanvre a hautes performances mecanique. Prix Jeunes Chercheurs “Rene Houpert”,* Chambéry, 2012

Vinay Kumar, Ravi Ramadoss, Rampradheep G.S, *A study report on carbon sequestration by using Hempcrete,* Materials Today: Proceedings 45 (2021) 6369–6371

Wang Shanwei, Wang Sheliang, Lu Zhe, Meng Zhaobo, Li Binbin, Zhao Nan, *Revamp of the sticky rice-lime binder with metakaolin and natural fiber for restoration: Properties and characteristics,* Journal of cultural Heritage, 1 Settembre 2022

Woolley, *Natural Building: A Guide to Materials and Techniques,* The Crowood Press Ltd, Ramsbury, Marlborough, Wiltshire, UK, T2006

Y. Florentin, D. Pearlmutter, B. Givoni, E. Gal, *A life-cycle energy and carbon analysis of hemp-lime bio-composite building materials,* Energy and Buildings 156 (2017) 293–305

Yolanda A. Criado and J. Carlos Abanades, *Carbonation Rates of Dry Ca(OH)₂ Mortars for CO₂ Capture Applications at Ambient Temperatures,* Industrial & Engineering Chemistry Research, 2022

Portavoce: **Jaume Duch Guillot,** *Direzione generale della Comunicazione, Economia circolare: definizione, importanza e vantaggi,* 25-05-2023, Parlamento Europeo, RIF.: 20151201STO05603

www.labancadellacalce.it

<https://internationalhempbuilding.org/wp-content/uploads/2018/07/tecniche-costruttive-con-calcecanapulo.pdf>

<https://www.weber-tradical.com/le-beton-de-chanvre/comment-faire-du-beton-de-chanvre/>

<http://biolevel.it/it>

<https://www.calcherasangiorgio.it>

<http://www.cmfgreentech.com/it>

<http://tecnocanapa-bioedilizia.it>

<http://federcanapa.it>

Allegati

Luciano Riberi

63 anni

artigiano edile restauratore
dei beni monumentali

1. Come è venuto a conoscenza del biocomposito calce-canapa? E come ha appreso le tecniche per l'utilizzo?

“Sono un appassionato della materia, mi occupo di edilizia naturale da circa 35 anni, ho utilizzato per anni il sughero e poi ho scoperto la canapa 12 anni fa ed essendo un conoscitore di calce teorico e pratico ho cominciato a sperimentare ed utilizzare il biocomposito come esperienza individuale per fare isolamento termico e acustico.”

2. Da quanto tempo esercita l'utilizzo di questo materiale?

“12 anni”

3. Quanti e quali progetti ha realizzato con questo materiale?

“Ho partecipato a diversi progetti, più di 30. Sono solito lavorare molto nelle ristrutturazioni ed utilizzare il biocomposito come intonaco o termointonaco. Un progetto importante a cui ho partecipato è stato con la camera di commercio di Cuneo dove sono state utilizzate queste tecniche a base di calce-canapa. Per mia conoscenza è il primo progetto di utilità pubblica in Italia realizzato con il biocomposito. Il progetto si chiama “Ecobat”, dove erano coinvolte la camera commercio di Cuneo, di Imperia e di Nizza. Noi nello specifico abbiamo realizzato la parte di Cuneo. La prima cosa che ho fatto quando sono entrato in questo mondo è stata realizzare dei blocchi in calce e canapa fatti da me, mi ero anche realizzato una mattoniera ma questo sistema oggi però lo uso meno. Le cause sono principalmente legate ai costi ed i benefici. Per esempio, per comprare 1 mc di blocchi in calce canapa generalmente si arriva circa a 300-320 €/mc, possiede dei vantaggi a livello di posa, ma per fare un cappotto, per esempio, si alzano troppi i costi. Il biocomposito funziona bene sia sottoforma di miscela che di blocchi ma io prediligo l'utilizzo della

miscela poiché meno costosa e più affine al concetto di “semplificazione”. Con questo termine mi riferisco in particolare all’applicazione ed alle possibili complicazioni che si possono avere ma che con l’utilizzo della miscela è più semplice, appunto, gestire.”

4. L’utilizzo di questo materiale, secondo lei, è conveniente?

“L’utilizzo di questo materiale è molto conveniente: da un punto di vista economico è paragonabile ad un sistema di pannelli per l’edilizia naturale. Da un punto di vista materico, di comfort abitativo e ambientale c’è un equilibrio perfetto. Se si riuscisse a mettere assieme tutti questi valori anche con l’economia sarebbe vincente contro tutti i prodotti di natura petrolifera. Da quando ho cominciato ci sono state molte evoluzioni, specialmente negli ultimi anni, che stanno dimostrando le caratteristiche e le prestazioni del biocomposito. Credo che in futuro ci sarà sempre più la prova di questo. Se facciamo un discorso economico e cantieristico i costi sono abbastanza nella norma. Per l’isolamento il rapporto di comparazione lo eseguo sempre con materiali naturali e nel caso specifico con il sughero (materiale più vicino alla canapa). I sistemi di biocomposito sono un insieme di cose che vengono messe assieme per raggiungere uno scopo. Un canapulo pronto all’uso sbriciolato costa mediamente circa 80 €/mc, un granulato di sughero 170€/mc. Ad oggi essendo anche aumentati i costi dei materiali di sintesi, la canapa può competere anche con questi da un punto di vista economico.”

5. Quali sono, secondo lei, i vantaggi ottenuti dall’applicazione del biocomposito? E gli svantaggi?

“I vantaggi, secondo me, possiamo assumerli parlando di traspirazione. In edilizia, oggi, di materiali veramente traspiranti non ce ne sono tantissimi. Nell’utilizzo del biocomposito, in particolare quando viene utilizzato il grassello di calce e canapulo, la casa è attiva con il suo scopo, ovvero la protezione delle persone all’interno ed il comfort abitativo. Per fare questo bisogna fare un progetto e avere l’idea di che cosa si vuole realizzare ed il biocomposito si presta bene a trovare la soluzione. Il punto nevralgico è l’inverso. Avere una casa che traspira significa che nel sistema di progettazione bisogna progettare il sistema delle pareti in modo che questa traspirazione continui ad essere efficiente ma che allo stesso tempo non diventi un problema. In sintesi, per utilizzare il biocomposito di calce canapa è

necessario avere una buona progettazione. In questo tipo di costruzione bisogna avere maggior consapevolezza, dati certi e progettare dei sistemi che siano in grado di prevenire i problemi. Oggi per risolvere questi problemi si usano guaine e freni a vapore ma, in realtà, per mia esperienza ho visto che non sono necessari con una buona progettazione. Se metto un freno a vapore in un sistema traspirante vado a rallentare qualcosa che mi serve funzioni senza rallentamenti. Chiaramente viene usato come forma di tutela del progettista. Se si è consapevoli dei pregi e dei difetti si evitano problemi. Nella progettazione, quando mi trovo costretto a fare certi tipi di ragionamento, io non uso il freno a vapore ma una doppia rasatura di calce idraulica con una granulometria che allontana una serie di problematiche, in particolare rallenta l'assorbimento delle acque esterne.”

6. Qual è, secondo lei, il motivo principale per il quale questo materiale risulta essere ancora poco utilizzato e poco conosciuto?

“Tendenzialmente perché la canapa in edilizia non ha ancora raggiunto determinati meccanismi perché non si conoscono. Noi abbiamo un regresso storico culturale che è molto basato sull'utilizzo nel settore tessile; nell'ambito dell'edilizia si è affacciato da poco e deve ancora venire fuori quello su cui oggi gli enti precostituiti devono lavorare e stanno lavorando per ottenere e divulgare più informazioni. Più verranno fuori informazioni esaustive più il biocomposito verrà utilizzato.”

GETTO IN CALCE CANAPA



Figura 1: dettaglio esecutivo della realizzazione dell'isolamento in calce-canapa raffigurante anche la muratura esistente



Figura 2: dettaglio raffigurante la realizzazione dei casseri per l'esecuzione dell'isolamento in calce-canapa



Figura 3: dettaglio esecuzione dei casseri durante l'applicazione del calce-canapa



Figura 4: fotografia raffigurante l'edificio dove è stato applicato il calce-canapa

1. Si tratta di una progettazione di nuova costruzione o restauro?

“Recupero.”

2. Per cosa è stato utilizzato il biocomposito? Sotto forma di miscela o di blocchi?

“In questo caso specifico è stata utilizzata la miscela sotto forma di getto per realizzare l'isolamento termico dell'edificio.”

MISCELA

1. Perché ha scelto proprio questo materiale? È stata una sua scelta o della committenza?

“Io credo che sicuramente il committente segue l'artigiano, in particolar modo quando quest'ultimo conosce bene la materia. Nelle mie realizzazioni di isolamenti naturali, eseguiti in un certo modo, ho sempre riscontrato successo da parte della committenza e quindi sono il primo promotore di questi materiali. Ad oggi comunque c'è un maggior interesse generale per la bioarchitettura e quindi credo che anche il committente con delle ricerche su internet possa facilmente venire a conoscenza del materiale e proporlo all'esecutore. Nelle mie esperienze posso dire che è un materiale che funziona molto bene sia dal punto di vista esecutivo che per il risultato finale.”

2. Com'era la superficie sulla quale è stata utilizzata la miscela? Da quanto tempo è stata applicata?

“La muratura sulla quale è stato applicato il biocomposito era antica, una parte era cementizia, un'altra aveva della ghiaia e il resto era mista. Abbiamo dapprima rimosso l'intonaco e successivamente abbiamo realizzato un getto di 20 cm di calce canapa. Il recupero è stato eseguito nel novembre del 2022.”

3. Come è stata composta la miscela? Quali materiali sono stati scelti e perché?

“La miscela è un semisecco di calce-canapa, per un getto di questo tipo indicativamente per 1 mc di canapa che pesa 110 kg arrivo a 220 kg aggiungendo 4-5 sacchi di grassello di calce da 25 kg. Generalmente la compongo con canapulo, grassello di calce e acqua. Io preferisco utilizzare il grassello di calce perché ho come idea il fatto che voglio raggiungere il massimo di traspirazione. Dopodiché dovessero presentarsi delle condizioni che presuppongano l'impedimento di assorbimento di acqua e aria utilizzo la calce idraulica NHL5 naturale italiana, ma devono comunque esserci dei validi motivi poiché la calce idraulica va a compromettere il potere isolante del materiale. Generalmente, comunque, si cerca di risolvere in partenza queste problematiche. Canapulo e legno hanno entrambe lignina, questa nel canapulo si comporta diversamente dal legno. Assorbe almeno tre volte in più senza avere una deformazione. Utilizzo il grassello di calce poiché il canapulo in questo modo si imbibisce con l'acqua del grassello. L'esperienza mi ha dimostrato che miscelando grassello di calce e canapulo e rimettendolo nei sacconi senza farlo evaporare ha come prodotto un materiale che ha molte più caratteristiche leganti, rispetto a bagnare prima il canapulo e miscelarlo successivamente con il grassello. È possibile anche bagnare il canapulo precedentemente e poi miscelarlo successivamente con il grassello di calce (che in questo caso avrebbe solo un'azione di superficie). Questo è necessario per far fuoriuscire gli zuccheri presenti nel canapulo, ma per fare ciò bisognerebbe bagnarlo, lasciarlo asciugare e ribagnarolo.”

4. Ha avuto qualche particolare accortezza durante la preparazione della miscela?

“La principale accortezza è appunto l’utilizzo del grassello di calce per far in modo che il canapulo nell’atto della miscelazione non si imbibii solo di acqua, ma anche con una percentuale del grassello e riporlo di nuovo nei sacconi fino all’utilizzo in modo tale che acquisisca migliori caratteristiche leganti. Anche il tipo di canapa è importante. In Piemontese la canapa veniva chiamata “cana veuid” che vuol dire canna vuota questo perché appunto la canapa all’interno presenta dei fori. In Europa abbiamo 40 varietà di canapa e queste possono essere monoiche o dioiche. Le dioiche vengono molto alte e con fusti alti: più il fusto è alto più i pori sono grandi quindi questo canapulo si comporta in modo superiore alla monoica che presenta fori più piccoli. Io cerco di utilizzare le dioiche perché con queste è più facile raggiungere impasti di un certo tipo.”

5. Come è stato applicato? Ha posto qualche particolare attenzione?

“Per la partenza in generale di cappotti e/o termointonaci si realizza uno strato di sughero perché questo non è assorbente e perciò evita l’umidità di risalita che potrebbe compromettere il sistema e far perdere potere isolante. Successivamente si crea un’intercapedine dove si posizionano delle tavole da 20 cm ad una distanza di 70 cm l’una dall’altra e le si fissano con delle piastre di giunzione. Si mettono queste tavole spesse 4 cm x 20 cm e si costituisce l’orditura di legno e poi si fa la miscela. La miscela è un semi secco di calce canapa che viene costipato nell’intercapedine e compresso con un pestello, dopodiché si sposta la plancia e si ripete l’operazione. Quando si raggiunge il tetto il processo cambia leggermente perché non è possibile comprimerlo con il pestello. Ci sono due possibilità: la prima è formare una miscela con una percentuale di acqua superiore e si realizza una specie di intonaco, la seconda è utilizzare dei pannelli di fibra di canapa negli ultimi 10-15 cm. Dopo, si prendono delle strisce di rete in fibra di vetro di 10-15 cm e le si applicano sull’orditura del legno dove la canapa incrocia la canapa per evitare delle crepe dovute alla differenza dei materiali. Infine, si realizza il termointonaco che in questo caso deve avere l’accortezza di essere almeno spesso 2 cm così si evitano i fenomeni delle crepe, specialmente nelle case vecchie (solitamente, infatti, realizzo

termointonaci di 5 cm e per questi aumento le percentuali di grassello di calce). Lo spessore è determinante per evitare problematiche nei punti critici delle case come, per esempio nelle bordure delle finestre.”

6. Ha riscontrato qualche criticità durante l'applicazione? E dopo?

a. Se sì, sono state risolte? Come?

“Il grassello di calce richiede tutela poiché è ustionante ma a livello strutturale ed in generale no. Prediligo il concetto della “semplificazione” ovvero usare un sistema semplice che non preveda margini di errore. Le criticità possono nascere se mi dimentico di mettere una staffa o se non costipo bene il biocomposito, ma sono piccole accortezze legate all'esecuzione come per qualsiasi altro utilizzo di altri materiali. Se ci sono complicazioni solitamente nascono da disattenzioni proprio per questo prediligo l'utilizzo della miscela. Non ci sono troppi materiali e punti critici da tener in considerazione.”

Fabio San Filippo

50 anni

artigiano edile

1. Come è venuto a conoscenza del biocomposito calce-canapa? E come ha appreso le tecniche per l'utilizzo?

“In realtà in modo casuale, un amico è venuto a conoscenza del calce-canapa e mi ha contattato per trovare una formula che potesse andare bene. Inizialmente, sperimentando ho compreso le potenzialità del materiale e successivamente ho conosciuto una persona che aveva seguito dei corsi a riguardo ed insieme abbiamo trovato la giusta ricetta per applicare il biocomposito nel miglior modo possibile”.

2. Da quanto tempo esercita l'utilizzo di questo materiale?

“15 anni”

3. Quanti e quali progetti ha realizzato con questo materiale?

“Circa 7/8 qua in zona, principalmente sono case private”

4. L'utilizzo di questo materiale, secondo lei, è conveniente?

“É particolarmente caro, a differenza dell'intonaco tradizionale qua ci vogliono due /tre mani ma comunque la praticità del biocomposito sta anche nel poterlo utilizzare per tappare i buchi nelle murature vecchie e poter appunto realizzare più spessori. Gli spessori minimi sono tra i 3 ed i 5 centimetri ma si può anche andare oltre. Inoltre, bisogna dire che sebbene sia più caro il materiale, nella praticità l'utilizzo del calce canapa ricopre più funzioni: si risparmia tempo nella preparazione delle murature, assolve a funzioni termiche, acustiche ed anche estetiche; perciò, a mio avviso ciò che viene speso per l'acquisto del materiale viene poi compensato con il risparmio per tutto il resto, comprese le ore di lavoro, quindi la manodopera”.

5. Quali sono, secondo lei, i vantaggi ottenuti dall'applicazione del biocomposito? E gli svantaggi?

“Svantaggi ne vedo pochi, come artigiano penso alla necessità di proteggersi quando si utilizza la calce e appunto il costo che però viene compensato, i vantaggi sono molti. Io realizzo intonaci ma di fatto, potendo realizzare più spessori arrivando anche a 8 centimetri, con l'utilizzo di questo materiale realizzo anche isolamento: insomma, sono dei termointonaci. Gli spessori variano a seconda dell'utilizzo e delle condizioni attuali delle murature, ad esempio: su una muratura nuova con muri dritti è possibile arrivare a spessori di 10 centimetri. Non essendo un intonaco strutturale eviterei di ricoprirlo poi con delle piastrelle che oltretutto andrebbero a soffocare il muro eliminando la componente di traspirabilità per la quale spesso viene prediletto rispetto ad altri materiali”.

6. Qual è, secondo lei, il motivo principale per il quale questo materiale risulta essere ancora poco utilizzato e poco conosciuto?

“Per tre motivi: la mentalità vecchia italiana, che vede come unico materiale il cemento, i costi e la mancanza di manodopera informata. Il “tiro” della calce stesso è fatto in un certo modo ed il materiale ha delle caratteristiche proprie che è necessario conoscere sul campo sia per la preparazione che per l'applicazione. La mentalità per utilizzare il biocomposito deve essere diversa da quella con cui siamo cresciuti: si pensa troppo ai costi ed al finire in fretta, utilizzare il calce canapa richiede tempi più lunghi, a volte specialmente nelle murature in pietra attendo 40 giorni prima di applicare la finitura, nelle murature in mattoni meno ma perché parte dell'acqua viene assorbita e matura più rapidamente. Sicuramente se la componente economica venisse attenuata verrebbe utilizzato molto di più perché le prestazioni di questo materiale a mio avviso sono migliori”.

TERMOINTONACO IN CALCE-CANAPA



Figura 5: dettaglio muratura esistente



Figura 6: Dettaglio esterno intonaco di calce-canapa con finitura in argilla



Figura 7: dettaglio esecuzione impianti: lo spessore del calce-canapa consente di non dover rompere la muratura per inserire gli impianti



Figura 8: dettaglio raffigurante a sinistra lo strato grezzo del calce-canapa e a destra l'intonaco finito in argilla



Figura 9: dettaglio raffigurante lo spessore dell'intonaco interno



Figura 10: dettaglio raffigurante lo spessore dell'intonaco esterno



Figura 11: dettaglio raffigurante una finitura in calce-canapa



Figura 12: dettaglio raffigurante la finitura in argilla sul calce-canapa eseguita seguendo l'andamento del muro esistente

1. Si tratta di una progettazione di nuova costruzione o restauro?

“Restauro”

2. Per cosa è stato utilizzato il biocomposito? Sotto forma di miscela o di blocchi?

“È stato utilizzato come termointonaco, sia all’interno che all’esterno utilizzando miscele leggermente differenti. I blocchi non li ho mai utilizzati perché preferisco la miscela.”

MISCELA

1. Perché ha scelto proprio questo materiale? È stata una sua scelta o della committenza?

“La scelta è stata della committenza, ma ovviamente a me interessava l’argomento. Inoltre, con il passare degli anni ho potuto anche ottenere buoni riscontri da parte della committenza che risultava molto soddisfatta per il comfort abitativo e per il risparmio energetico, dato che riuscivano a scaldare con una sola stufa più locali”.

2. Com’era la superficie sulla quale è stata utilizzata la miscela? Da quanto tempo è stata applicata?

“L’edificio era una vecchia cascina con murature in pietra e con molti buchi e i lavori sono cominciati circa 7 anni fa perciò anche il primo intonaco, poi ci sono alcuni locali che sono ancora in fase di realizzazione ora e stanno per essere completati”.

3. Come è stata composta la miscela? Quali materiali sono stati scelti e perché?

“Ci sono varie tipologie di miscela, in parte dipende dalla grana del canapulo: quello grossolano è idoneo per i primi strati e per riempire i buchi e conviene sia per costi che per resa, quello più fine per le fasi finali. Inoltre, a seconda dell’utilizzo predisposto vario il contenuto di calce idraulica naturale e di grassello di calce. Mediamente su 200 litri di acqua e canapulo di solito utilizzo un sacco di grassello, un secchio e mezzo di calce idraulica naturale NHL5 (perché ha una resistenza meccanica maggiore) ed una palata di sabbia. Dapprima mescolo 3 bidoni di canapulo con acqua, poi aggiungo il grassello di calce con il resto del canapulo e proseguo aggiungendo a palate calce idraulica e sabbia fine finché non ingrossa. Normalmente per realizzare la miscela utilizzo una betoniera da 200 litri. Da questa ricaviamo circa

3-4 mastelloni da 60 litri che possiamo facilmente spostare perché il materiale è molto più leggero rispetto agli altri prodotti utilizzati per realizzare questo tipo di lavoro. Dopo aver miscelato i materiali li riponiamo in mastelloni perché, per ottenere la presa, il materiale ha necessità di riposare per almeno 30 minuti/1 ora. Infine, solitamente concludo con una finitura in argilla, in questo caso argilla locale presa proprio qui sul posto vicino alla casa, setacciata a mano e successivamente unita a circa 1/3 di inerti e acqua per essere stesa sulla parete. L'obiettivo è conferire protezione all'intonaco di calce-canapa che risulta essere molto friabile e ottenere una diversa colorazione delle pareti”.

4. Ha avuto qualche particolare accortezza durante la preparazione della miscela?

“Sì, questa miscela deve mescolarsi per almeno 10 minuti anche 15 minuti, perché il canapulo deve riempirsi del grassello di calce e dell'acqua. Poi a seconda del caso aggiungo anche più grassello e modifico anche le quantità di calce idraulica naturale: se realizzo finiture esterne avrò l'accortezza di utilizzare più calce idraulica per far sì che resista anche agli agenti atmosferici, all'interno per ottenere un ambiente più traspirabile utilizzerò più grassello di calce. Un altro fattore da tenere in considerazione è la quantità d'acqua da aggiungere: essa varia a seconda dell'umidità presente in quel momento, quindi, bisogna star attenti a non realizzare un prodotto eccessivamente secco poiché in questo caso potrebbe poi sgretolarsi successivamente”.

5. Come è stato applicato? Ha posto qualche particolare attenzione?

“Su murature vecchie e malsane è bene realizzare una miscela più densa e quindi aggiungo più grassello per mantenere degli spessori di 5 centimetri ed un effetto più “soffice”. L'applicazione è stata di tipo meccanico, quindi attraverso la cazzuola e il tiro sulla parete partendo dal basso fino in cima e ripetendo l'operazione strato su strato. L'unica accortezza che mi sovviene è coprire bene le parti in legno poiché potrebbero rovinarsi”.

6. Ha riscontrato qualche criticità durante l'applicazione? E dopo?

a. Se sì, sono state risolte? Come?

“Mi è successo una volta che ammuffisse una parte della parete e dopo aver constatato che era dovuto alla realizzazione della finitura su uno strato ancora troppo umido che necessitava di più tempo per asciugarsi ed eliminare le impurità trattenute abbiamo risanato l'intonaco in quella parte. Per questo ad oggi io aspetto 40 giorni prima di realizzare la finitura, così da evitare queste problematiche”.

Piero Brunello

48 anni

artigiano edile

1. Come è venuto a conoscenza del biocomposito calce-canapa? E come ha appreso le tecniche per l'utilizzo?

“Sono venuto a conoscenza attraverso un percorso di anni dove ho imparato a sperimentare ed applicare diversi materiali. Sono venuto a vivere in Valchiusella nel 1996, e da lì ho iniziato ad interessarmi, per passione, a quella branca di architettura che io chiamo “eco-architettura”. Negli anni seguenti (2001) ho acquistato un casale in pietra dove ho cominciato a sperimentare. Credo che un artigiano debba sperimentare molto prima di comprendere un materiale ed applicarlo per mestiere, ed io l’ho fatto a casa mia. Ho sperimentato vari impasti usando come base sempre calce e/o argilla, studiandone le reazioni, le possibili miscele, la loro applicazione e l’iterazione di queste con i materiali preesistenti (come intonaci antichi). Negli anni successivi ho conosciuto la canapa e l’ho studiata a 360 gradi, credo sia un materiale dalle innumerevoli sfaccettature, qualità e possibilità d’applicazione per campi diversi; inoltre, per quanto sia conosciuta la canapa, è relativamente nuova nel campo edile.”

2. Da quanto tempo esercita l'utilizzo di questo materiale?

“Circa una decina di anni”.

3. Quanti e quali progetti ha realizzato con questo materiale?

“Un po’; comunque, sempre piccoli progetti per abitazioni private, specialmente termintonaci, ma ho realizzato anche una rasatura in polvere di canapulo”.

4. L'utilizzo di questo materiale, secondo lei, è conveniente?

“É un ottimo materiale per quanto riguarda la qualità di come risponde; la convenienza dipende da chi lo posa, come lo posa e il contesto in cui ci si trova. Purtroppo, il costo della canapa è salito molto negli ultimi tempi, anche perché mancano filiere di produzione,

ed inoltre, come molte cose legate alla bio-architettura, questo materiale è diventato di nicchia. Direi che è relativamente conveniente: se lo si paragona al sughero è più conveniente, ma rispetto ad altri aggregati più comuni no. In realtà poi la calce è possibile miscelarla con tantissimi aggregati, non presi molto in considerazione dagli applicatori oggi: la lolla di riso, la segatura, la paglia..., ma serve studiarli, sperimentarli per capirne le caratteristiche e sicuramente devono diventare accessibili economicamente”.

5. Quali sono, secondo lei, i vantaggi ottenuti dall'applicazione del biocomposito? E gli svantaggi?

“I vantaggi sono: vivere in un’ambiente più salubre, perché il materiale è traspirante; la durata, che risulta essere molto più lunga; le caratteristiche termiche, per il forte potere isolante; e la sostenibilità ambientale, dato che viene considerato un materiale ecologico che può essere riciclato e che sottrae CO₂ all’ambiente. Non credo ci siano svantaggi, la realtà è che non c’è conoscenza ed è ancora costoso. Per una committenza alla quale interessa vivere in un ambiente naturale, ad oggi, risulta essere molto difficile economicamente e dal punto di vista applicativo (poiché manca la manodopera informata). Io spero che in futuro possa esserci una filiera vicino a noi, in modo tale da far approcciare più persone all’argomento, abbassare i costi del canapulo e promuoverne l’utilizzo”.

6. Qual è, secondo lei, il motivo principale per il quale questo materiale risulta essere ancora poco utilizzato e poco conosciuto?

“É un materiale che va studiato, non basta la conoscenza che ad oggi possiede la maggior parte degli operatori. Se le industrie si dedicassero maggiormente a questo argomento, automaticamente si svilupperebbe un mercato, una maggior conoscenza ed un maggior utilizzo.”

RASATURA IN CALCE-CANAPA

1. Si tratta di una progettazione di nuova costruzione o restauro?

“Restauro.”

2. Per cosa è stato utilizzato il biocomposito? Sotto forma di miscela o di blocchi?

“Ho realizzato una rasatura con la miscela.”

MISCELA

1. Perché ha scelto proprio questo materiale? È stata una sua scelta o della committenza?

“La scelta è stata mia, appunto perché in questo caso è una delle mie sperimentazioni eseguite in una mia proprietà.”

2. Com'era la superficie sulla quale è stata utilizzata la miscela? Da quanto tempo è stata applicata?

“Il fondo esistente era un intonachino di calce ed è stata eseguita qualche anno fa.”

3. Come è stata composta la miscela? Quali materiali sono stati scelti e perché?

“Ho scelto il grassello di calce e la polvere di canapulo (di buona qualità, ben vagliata). Scelgo il grassello di calce perché per questa realizzazione, come per i termintonaci ed i getti, ho constatato funzioni meglio; solitamente la calce idrata in polvere la uso per le pitture.”

4. Ha avuto qualche particolare accortezza durante la preparazione della miscela?

“No, solo il quantitativo d'acqua. Meno acqua si mette, meno il biocomposito si ritrae. I quantitativi specifici non li ricordo, appunto perché sono solito variare a seconda del caso. Dopo la mescola ho lasciato riposare il materiale per un po' di tempo. Per comporre la miscela ho inserito prima l'acqua, poi la polvere di canapulo ed il grassello di calce. Sono convinto che, quando si comprende: il processo di bilanciamento della miscela, il metodo di applicazione e si eseguono dei test in precedenza, per verificare la risposta dei materiali (poiché la calce non è mai la stessa, il canapulo nemmeno, la latitudine la longitudine cambiano e anche l'ambiente secco o umido), allora non si incorre in grandi problematiche. Noi arriviamo da una società dove la ricetta non esiste (i materiali preconfezionati non lo

richiedono), per questo materiale, che va bilanciato ogni volta, bisogna possedere una conoscenza totale. È necessario tenere in considerazione tutti i parametri tecnici e soprattutto la tempistica, che risulta essere molto più lunga.”

5. Come è stato applicato? Ha posto qualche particolare attenzione?

“La rasatura come l’ho composta io può essere considerata la finitura del cappotto e del termointonaco, è stata applicata a mano con la spatola. Non sono materiali idonei per stare a contatto con la pioggia battente; perciò, bisogna considerare alcuni aspetti tecnici nella costruzione della casa e nella progettazione. Nell’applicazione quindi il primo metro della casa deve essere protetto, magari con un rivestimento in pietra o con altri materiali. Ci sono considerazioni di base, specialmente nella progettazione, necessarie per non avere criticità nel tempo; per quanto riguarda l’applicazione ho constatato che è meglio eseguire più strati sottili in modo tale da permettere al biocomposito di asciugarsi completamente.”

6. Ha riscontrato qualche criticità durante l’applicazione? E dopo?

a. Se sì, sono state risolte? Come?

“No, in quest’applicazione no, ma perché io sono solito eseguire dei test prima di procedere con l’applicazione finale. Se riesco a comprendere in anticipo il comportamento del materiale non ho problemi in un secondo momento. Dopodiché, è importantissimo rispettare i tempi di asciugatura, perché applicare gli strati successivi sul biocomposito non asciutto, può far sì che l’umidità all’interno ristagni e si generino crepe o ammuffisca il materiale. Nel caso succedesse è bene aspettare e cercare di velocizzare l’asciugatura riducendo l’umidità magari attraverso deumidificatori e se dovesse crepare lo strato sottostante non sarebbe un grande problema (può succedere spesso), perché eseguita la rasatura finale non creperà più.”

SPERIMENTAZIONE E DIMOSTRAZIONE DI UNA MISCELA PER INTONACO

Con Piero Brunello abbiamo inoltre eseguito una sperimentazione di una miscela composta da:

- 3 lt di amido di mais (distillato da Piero Brunello)
- 5 Kg di calce idrata in polvere
- 2 secchi di canapulo 0,6
- 1 secchio e mezzo di acqua

Piero Brunello aveva già preparato il distillato di mais e lo aveva unito con una parte di acqua e calce idrata e lo aveva riposto in un secchio a riposare. Abbiamo preso il composto e lo abbiamo in principio miscelato con miscelatore elettrico in un mastellone, abbiamo aggiunto a mano a mano il canapulo, aggiungendo anche all'occorrenza dell'acqua e continuando a mescolare. Questo processo è stato confrontato con la preparazione di una ricetta in cucina: gli ingredienti vanno selezionati, pesati e miscelati insieme in un ordine preciso, ovvero, per esempio, la canapa va aggiunta al legante e non viceversa, altrimenti la parte sottostante indurirebbe il composto rendendo più difficile e più lunga la fase di miscelazione (proprio come per una ricetta). Proprio come accade spesso in cucina il contenuto d'acqua è variabile in base alla plasticità della miscela che si vuole ottenere e nel caso dovesse divenire troppo liquida deve essere bilanciata con l'aggiunta degli altri componenti. Una volta composta la miscela abbiamo atteso 10-15 minuti e nel frattempo abbiamo preparato la superficie pulendola e bagnandola con acqua e acqua di calce. La muratura era composta principalmente in pietra ed in laterizio. Terminata l'attesa, Piero Brunello ha iniziato ad applicare il composto manualmente con una cazzuola, sottolineando l'importanza di non sovraccaricare il materiale la prima mano, specialmente dove erano collocate le pietre. Essendo un giorno di pioggia e quindi molto umido, abbiamo lasciato asciugare il biocomposito senza toccarlo successivamente. Al termine dell'applicazione il risultato è stato quello ottenuto nell'immagine riportata qui (Figura 13).

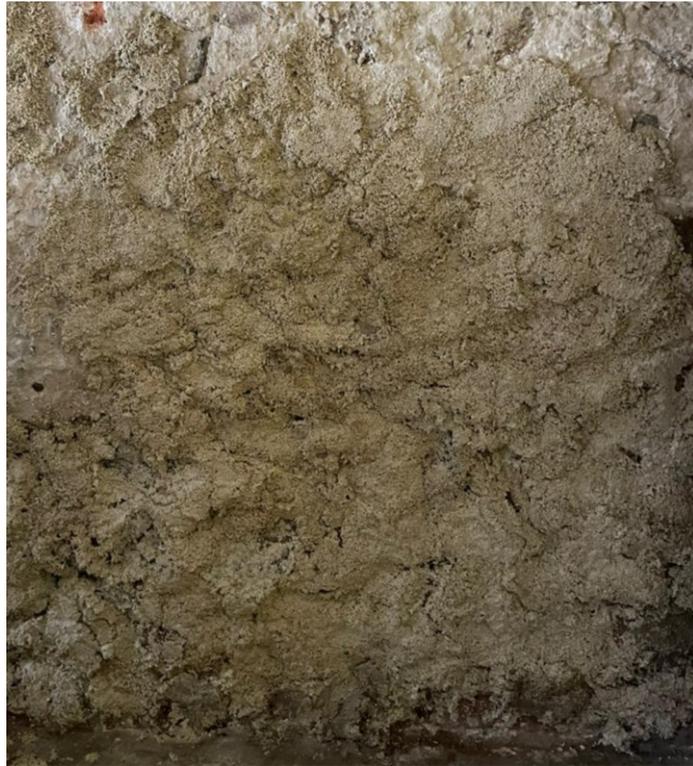


Figura 13: primo strato di applicazione del biocomposito di calce-canapa, composto da: calce idrata in polvere, amido di mais, acqua e canapulo, immagine prodotta dall'autore

Ashur Buriani

32 anni

artigiano, lavoro nell'edilizia

1. Come è venuto a conoscenza del biocomposito calce-canapa? E come ha appreso le tecniche per l'utilizzo?

“Ho appreso le tecniche tramite degli amici, che realizzano cappotti da un paio di anni. Ho iniziato a lavorare con loro, ho compreso le potenzialità del calce-canapa, utilizzandolo anche per diverse applicazioni.”

2. Da quanto tempo esercita l'utilizzo di questo materiale?

“Da circa un anno, qualcosa in più.”

3. Quanti e quali progetti ha realizzato con questo materiale?

“In realtà non ricordo il numero preciso. Abbiamo realizzato il cappotto di una cascina in calce-canapa, diversi intonaci/termointonaci, l'isolamento del tetto e anche un pavimento, sempre utilizzandolo sottoforma di miscela.”

4. L'utilizzo di questo materiale, secondo lei, è conveniente?

“A livello economico sarebbe meglio se si sviluppasse una filiera qui vicino, perché il canapulo è ancora un po' costoso. A livello di salubrità e comfort abitativo come prodotto è eccellente. È un materiale naturale con un forte potere isolante, per questo abbiamo ottenuto molti riscontri positivi dalle committenze, in particolare io personalmente ho potuto constatare i miglioramenti in una stanza di un amico, dove avevamo eseguito un termointonaco in calce-canapa.”

5. Quali sono, secondo lei, i vantaggi ottenuti dall'applicazione del biocomposito? E gli svantaggi?

“I vantaggi sono dettati proprio dalle caratteristiche del biocomposito, che lo rendono anche conveniente: salubrità dell'ambiente, coibentazione, ecocompatibilità...; gli svantaggi, secondo me, si

ricondono invece all'accessibilità del materiale, che risulta ancora poco conosciuto e di non facile reperibilità.”

6. Qual è, secondo lei, il motivo principale per il quale questo materiale risulta essere ancora poco utilizzato e poco conosciuto?

“Secondo me, parlando per il Canavese, manca una filiera di produzione e trasformazione che possa commercializzare la canapa e far crescere l'interesse e la conoscenza del materiale, che ad oggi non viene approfondita, se non da veri e propri appassionati. Con una filiera più vicina ci sarebbe il modo di sviluppare un'economia sul territorio ed abbassare anche i costi rendendolo più accessibile anche dal punto di vista economico e si svilupperebbe anche un'economia circolare.”

TERMINTONACO IN CALCE-CANAPA

1. Si tratta di una progettazione di nuova costruzione o restauro?

“Restauro”.

2. Per cosa è stato utilizzato il biocomposito? Sotto forma di miscela o di blocchi?

“Miscela per termintonaco”.

MISCELA

1. Perché ha scelto proprio questo materiale? È stata una sua scelta o della committenza?

“La scelta è stata del mio capo (ovvero dell'operatore), che ha convinto la committenza”.

2. Com'era la superficie sulla quale è stata utilizzata la miscela? Da quanto tempo è stata applicata?

“Era una muratura mista in pietra e mattoni ed è stata applicata da quasi un anno”.

3. Come è stata composta la miscela? Quali materiali sono stati scelti e perché?

“Grassello di calce, acqua, canapulo, calce idraulica e sabbia. Il mio capo eseguendo diverse sperimentazioni, ha constatato che questa formula funziona bene. Il grassello di calce rende la miscela molto lavorabile, l’acqua viene aggiunta in base alle condizioni meteorologiche, per il canapulo di solito utilizziamo una pezzatura non troppo piccola (al termine dell’asciugatura è possibile lasciarla così ed ottenere un effetto grezzo o rasarla con delle pezzature di canapulo più piccole), sabbia e calce idraulica, che ha una funzione un po’ meccanica e protettiva”.

4. Ha avuto qualche particolare accortezza durante la preparazione della miscela?

“Sì, nei passaggi da seguire per la miscelazione in betoniera. In generale, cercavamo sempre di eseguirla nello stesso modo altrimenti si ottenevano colorazioni dell’impasto differenti e plasticità differenti. Mettevamo prima il sacco di grassello di calce in betoniera con un mastellone d’acqua e successivamente poco per volta 3 mastelloni di canapulo (pezzatura non troppo sottile). Infine, si aggiungeva un po’ di calce idraulica ed un secchio di sabbia”.

5. Come è stato applicato? Ha posto qualche particolare attenzione?

“A mano con la cazzuola, come negli intonaci tradizionali. Per i muri in pietra ci limitavamo a ripulirli da polveri e impurità, per quelli in laterizio bagnavamo precedentemente la superficie con un po’ d’acqua o acqua di calce”.

6. Ha riscontrato qualche criticità durante l’applicazione? E dopo?

a. Se sì, sono state risolte? Come?

“No”.

SPERIMENTAZIONE E DIMOSTRAZIONE DI UNA MISCELA PER INTONACO

Con Ashur Buriani abbiamo, inoltre, eseguito una sperimentazione di una miscela composta da:

- 1 secchio di grassello di calce
- 2 secchi di canapulo fine 0,6
- 1 secchio d'acqua

In principio abbiamo mescolato con un miscelatore elettrico una parte di acqua con grassello di calce fino ad ottenere un composto omogeneo, successivamente abbiamo aggiunto poco per volta il canapulo, continuando a mescolare con il miscelatore ed aggiungendo all'occorrenza la parte di acqua restante. Prima di procedere con l'applicazione abbiamo atteso 10/15 minuti che il composto riposasse e successivamente Ashur Buriani ha iniziato l'applicazione su un muro in pietra e laterizio. Mentre attendevamo, prima dell'applicazione, abbiamo ripulito la superficie del muro e l'abbiamo lavata con acqua di calce. Ashur Buriani ha quindi iniziato l'applicazione con una cazzuola in modo tradizionale, in questo processo ha sottolineato l'importanza di cercare di non applicare il biocomposito su quello già presente sul muro perché potrebbe staccarsi completamente lasciando dei buchi. Dopo aver terminato il primo strato abbiamo atteso nuovamente diversi minuti e successivamente con un frattone in legno ha cominciato a schiacciare la miscela applicata per renderla omogenea. La giornata era particolarmente umida e perciò quest'ultimo procedimento, in teoria, richiederebbe un'attesa più lunga, ma per aiutarmi a comprendere l'importanza dell'asciugatura e quale sarebbe stato il passaggio successivo, l'ha eseguito ugualmente. La parte dell'intonaco che era stata applicata da più tempo non ha avuto problemi, in una parte di quella più recente ne è caduta una parte (proprio perché risultava ancora troppo umida), ma è stato comunque ripristinata subito dopo, senza incorrere in ulteriori problematiche. Con questa prima applicazione si è ottenuto un intonaco di circa 2/3 centimetri, secondo Ashur Buriani, per applicazioni più spesse è necessario l'utilizzo di un canapulo con una pezzatura più grande, il risultato viene mostrato nella seguente immagine (Figura 14).

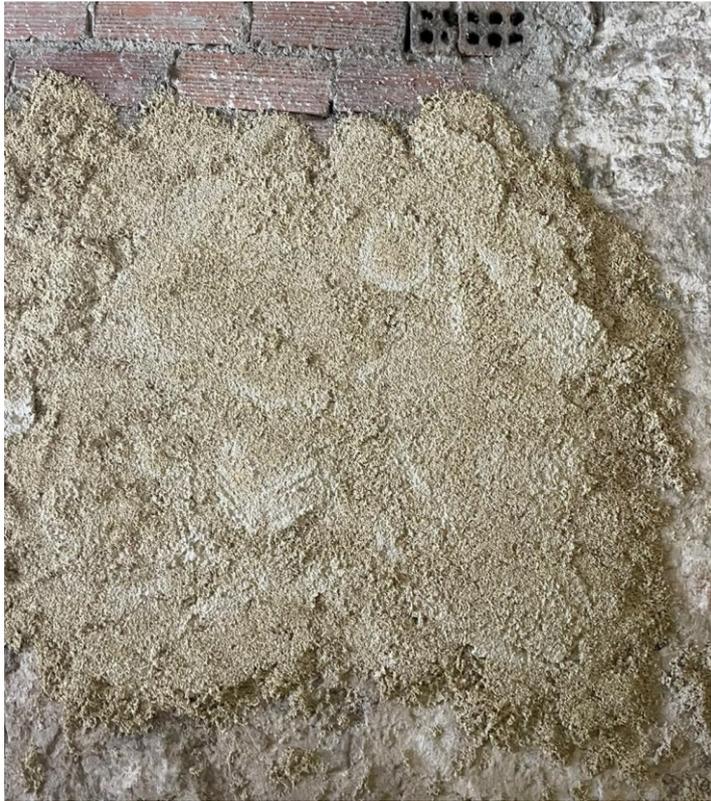


Figura 14: applicazione del biocomposito di calce-canapa composto da: grassello di calce, acqua e canapulo, immagine prodotta dall'autore

Andrea Valenti

43 anni

giardiniere, carpenteria

1. Come è venuto a conoscenza del biocomposito calce-canapa? E come ha appreso le tecniche per l'utilizzo?

“L'ho conosciuta tramite delle persone in Valchiusella e successivamente ho fatto dei corsi con “la banca del fare” in Piemonte dove ci hanno insegnato alcune tecniche”.

2. Da quanto tempo esercita l'utilizzo di questo materiale?

“3 anni fa”.

3. Quanti e quali progetti ha realizzato con questo materiale?

“L'ho usato per una parete come intonaco, per un pavimento e anche per chiudere dei buchi nel tetto; solitamente utilizzo grassello di calce, canapulo grande e paglia”.

4. L'utilizzo di questo materiale, secondo lei, è conveniente?

“Dal punto di vista prestazionale, anche un semplice intonaco aumenta la coibentazione ed è molto ecologico, dal punto di vista economico è cresciuto parecchio di costo”.

5. Quali sono, secondo lei, i vantaggi ottenuti dall'applicazione del biocomposito? E gli svantaggi?

“Come vantaggi sicuramente la resa termica, soprattutto in zone come le nostre, senza la necessità di dover aggiungere materiali sintetici o altro. Un altro vantaggio è la leggerezza che consente di utilizzarlo e applicarlo senza problemi. Come svantaggi non ne ho ancora trovati, se non il costo.”

6. Qual è, secondo lei, il motivo principale per il quale questo materiale risulta essere ancora poco utilizzato e poco conosciuto?

“Penso che sia ancora troppo di nicchia, poco conosciuto, difficile da reperire (spesso di importazione francese) e costoso”.

MISCELA ISOLANTE PER POSA DI LOSE

1. Si tratta di una progettazione di nuova costruzione o restauro?

“restauro di un vecchio fienile”.

2. Per cosa è stato utilizzato il biocomposito? Sotto forma di miscela o di blocchi?

“Come miscela per isolare e per poggiare le lose”.

MISCELA

1. Perché ha scelto proprio questo materiale? È stata una sua scelta o della committenza?

“Abbiamo scelto noi, che eravamo sia committenza che applicatori, perché è leggero, ecocompatibile ed isolante”.

2. Com'era la superficie sulla quale è stata utilizzata la miscela? Da quanto tempo è stata applicata?

“La superficie era composta da legno di castagno, sul quale è stato gettato il calce-canapa e sopra sono state posate le lose. Abbiamo gettato circa 2 anni fa”.

3. Come è stata composta la miscela? Quali materiali sono stati scelti e perché?

“Da grassello di calce, canapulo, paglia, calce idraulica naturale e anche geolite, (come ci hanno insegnato nei corsi) a volte utilizziamo anche il cocchiopesto per renderla più resistente e per l'umidità. Abbiamo scelto il calce-canapa perché una malta diversa sarebbe stata troppo pesante e avrebbe sovraccaricato eccessivamente la struttura, con il calce-canapa abbiamo realizzato 10 centimetri, ottenendo leggerezza e coibentazione.

4. Ha avuto qualche particolare accortezza durante la preparazione della miscela?

“No, essendo usata in orizzontale non abbiamo usato le stesse accortezze che si usano per l’intonaco ma abbiamo usato una rete in ferro per compensare i movimenti del legno”.

5. Come è stato applicato? Ha posto qualche particolare attenzione?

“Abbiamo gettato 10 cm di calce-canapa e abbiamo posato sopra le lose con l’aiuto di un martello in gomma. Sotto la gettata abbiamo inserito una rete, per evitare che il legno si muovesse e sgretolasse il biocomposito”.

6. Ha riscontrato qualche criticità durante l’applicazione? E dopo?

a. Se sì, sono state risolte? Come?

“No”.

Giuseppe Fai Villano

33 anni

lavoro in bioedilizia

1. Come è venuto a conoscenza del biocomposito calce-canapa? E come ha appreso le tecniche per l'utilizzo?

“Io ho conosciuto il calce-canapa attraverso dei ragazzi tedeschi in Valchiusella, sono stati loro, tra i primi a propormi il termointonaco in calce-canapa. Successivamente mi sono informato per conto mio e due anni dopo ho fatto un corso in cantiere a Perugia. La maggior parte delle sperimentazioni in bioedilizia in Italia sono marchigiane ed umbre. Ho conosciuto Danilo che lavora alla Senini canapa srl ed ho iniziato a sperimentare con lui”.

2. Da quanto tempo esercita l'utilizzo di questo materiale?

“8 anni”.

3. Quanti e quali progetti ha realizzato con questo materiale?

“In 8 anni tanti, 30-40 cantieri”.

4. L'utilizzo di questo materiale, secondo lei, è conveniente?

“Dal punto di vista economico assolutamente no, è troppo caro e continua ad aumentare. In Valchiusella, dato il forte interesse, si sta iniziando a parlare di possibili investimenti per la produzione della canapa in relazione allo sviluppo di un'economia circolare, ed io stesso mi sto formando a riguardo. Dal punto di vista salutare è molto conveniente, ma anche a livello strutturale. Spesso la committenza mi pone domande tipo: “è possibile appendere dei quadri su questa parete, perché il muro sembra morbido?”, ed io rispondo che nonostante l'apparenza una volta asciutto è come roccia, può anche essere difficile da forare. Difatti ho sperimentato anche la realizzazione di un cordolo in legno di nocciolo e calce-canapa, perché la calce quando cristallizza trasforma la canapa in pietra!”

5. Quali sono, secondo lei, i vantaggi ottenuti dall'applicazione del biocomposito? E gli svantaggi?

“I vantaggi: salubrità, traspirabilità, estetica, un materiale super lavorabile soprattutto nella rasatura, dove si hanno tempi lunghi di asciugatura. I tempi lunghi consentono una lavorabilità costante e così si può ottenere una superficie molto gradevole dal punto di vista estetico. Inoltre, è ecocompatibile, se lo demolisci lo puoi riutilizzare. Tutti i prodotti come eps, utilizzati recentemente per i cappotti, sono plastica sui muri. Nessuno si chiede cosa succederà tra 10-15 anni, quando si dovrà smantellare la parete e smaltirla? La lana di roccia quando la vendi devi firmare un foglio sapendo già che per toglierla dovrai pagare lo smaltimento. Il calce-canapa non ha questi problemi. Sicuramente lo svantaggio più grande è il costo ed il reperimento della materia”.

6. Qual è, secondo lei, il motivo principale per il quale questo materiale risulta essere ancora poco utilizzato e poco conosciuto?

“La canapa io la utilizzo in tutti i modi e informandomi ho scoperto che potrebbe essere utilizzata quasi per tutto, quindi secondo me, il motivo principale è perché c'è stato un grande proibizionismo in passato e continua ad esserci, inducendo un pregiudizio completo nei confronti dei molteplici possibili utilizzi della canapa. Le persone non sono abituate a capire che la canapa è stata proibita solo per l'aspetto stupefacente, ma è una pianta potentissima che potrebbe essere utilizzata in moltissimi campi. L'altro aspetto è sempre quello economico”.

CAPPOTTO ESTERNO E TERMINTONACO INTERNO

1. Si tratta di una progettazione di nuova costruzione o restauro?

“Restauro”.

2. Per cosa è stato utilizzato il biocomposito? Sotto forma di miscela o di blocchi?

“Come cappotto esterno e termintonaco interno, in entrambi i casi sottoforma di miscela. Ma si può applicare anche con i blocchi o con i pannelli. Io preferisco la miscela a mano con la cazzuola, specialmente per i restauri. I pannelli solitamente li utilizzo sulle

superfici lisce e li incollo con delle colle viniliche di composizione a base di resina e tasselli”.

MISCELA

1. Perché ha scelto proprio questo materiale? È stata una sua scelta o della committenza?

“È stata una mia scelta, perché sono divenuto un appassionato”.

2. Com'era la superficie sulla quale è stata utilizzata la miscela? Da quanto tempo è stata applicata?

“La superficie sull' esterno era in pietra, all'interno era in pietra rivestita da 2 cm di intonaco e rasante. Da circa 8 anni”

3. Come è stata composta la miscela? Quali materiali sono stati scelti e perché?

“NHL5, grassello di calce e per ogni betoniera una o due palate di sabbia che aiuta a legare la calce, canapulo, un bicchiere di latte perché ho sperimentato che migliora notevolmente l'applicazione e funge da fissativo naturale”.

4. Ha avuto qualche particolare accortezza durante la preparazione della miscela?

“Il primo passaggio è mettere a mollo in acqua il canapulo 20 min prima di iniziare, in quest'operazione si predispone il materiale ad essere aperto alla calce, nel frattempo miscolo un sacco di grassello di calce ed un secchio di NHL5. A seguire prendo il canapulo e lo strizzo scaricando l'acqua in eccesso, aggiungo una palata circa di sabbia e metto tutto in betoniera: prima la calce e poi aggiungo piano piano 2 mastelli di canapulo e lascio mescolare per 10 min, una volta scaricata la betoniera aspettiamo altri 10 min e l'acqua inizia a creare delle bolle (vuol dire che il canapulo sta assorbendo la calce), quando diminuiscono le bollicine e pronta per essere tirata”.

5. Come è stato applicato? Ha posto qualche particolare attenzione?

“Talocchia e cazzuola, ho provato anche le pompe per il calce-canapa che sicuramente sono più veloci, ma a me piace molto l'aspetto della lavorazione, a volte addirittura miscolo alla vecchia maniera con un

telone. Le attenzioni sono molte: si parte dal basso e si procede verso l'alto, la quantità di calce-canapa che si lancia deve essere omogenea perché il movimento che sta dietro è diverso da quello che si esegue con il cemento. Se si utilizza il cemento basta un piccolo movimento per far sì che si appiccichi al muro (ping-pong) mentre per il calce-canapa il movimento deve essere più forte, più largo e più ampio (tennis). Per questo motivo ho iniziato ad aggiungere il latte, per facilitare l'applicazione. Inoltre, sono solito bagnare il muro con acqua di calce o anche acqua e realizzare dei fori nella muratura con un trapano, prima di procedere con l'applicazione”.

6. Ha riscontrato qualche criticità durante l'applicazione? E dopo?

a. Se sì, sono state risolte? Come?

“Nelle ristrutturazioni quando c'è il salnitro possono crearsi muffe; perciò, prima di un'applicazione bisogna verificarne la presenza. Quando si ristrutturano vecchie stalle o fienili, bisogna pensare che gli animali possono aver contaminato per lungo tempo le murature con escrementi, e quando si verifica la presenza di salnitro nei momenti di caldo risale sul muro e sgretola e rovina tutto, qualsiasi tipo di prodotto. Nel calce-canapa mi è capitato di trovarmi di fronte a giganti macchie che risalgono dal basso con una muffetta bianca. Abbiamo risolto scrostando tutto anche una parte del pavimento, ho tolto tutta la muffa grattandola ed esportandola e ho ricomposto l'intonaco. Per la muffa ho usato un antimuffa e 5 litri di candeggia. Ho nebulizzato il muro 3-4 volte e ho ricostruito internamente 4 cm di calce-canapa, l'ho eseguito 3 anni fa ed ora non ci sono più problemi”.

Capriolo

42 anni

artigiano, artista

1. Come è venuto a conoscenza del biocomposito calce-canapa? E come ha appreso le tecniche per l'utilizzo?

“Ho conosciuto il calce-canapa e le tecniche per utilizzarlo tramite amici”.

2. Da quanto tempo esercita l'utilizzo di questo materiale?

“8 anni”.

3. Quanti e quali progetti ha realizzato con questo materiale?

“5-6 circa, soprattutto termintonaci”.

4. L'utilizzo di questo materiale, secondo lei, è conveniente?

“Assolutamente sì, anche se il canapulo è un po' caro ultimamente, è un materiale molto durevole quindi il rapporto qualità costo viene in parte giustificato”

5. Quali sono, secondo lei, i vantaggi ottenuti dall'applicazione del biocomposito? E gli svantaggi?

“I vantaggi sono la salubrità degli ambienti, è deumidificante, la calce purifica l'aria, non rilascia sostanze tossiche, è durevole nel tempo, traspirabilità ed ecocompatibilità. Quando finisco di lavorare posso lavare i secchi e buttarla per terra senza inquinare. Gli svantaggi risiedono principalmente nel reperimento del materiale e nei costi, ma anche il rispetto dei tempi di asciugatura”.

6. Qual è, secondo lei, il motivo principale per il quale questo materiale risulta essere ancora poco utilizzato e poco conosciuto?

“Manca una filiera di produzione e trasformazione della canapa e questo sicuramente non aiuta a conoscere questo materiale. Fino a poco tempo fa la canapa era demonizzata e questo non ne ha consentito lo sviluppo. Inoltre, è un materiale che necessita sperimentazione ed una conoscenza più approfondita per essere applicato, specialmente quando si utilizza sottoforma di miscela”.

TERMOINTONACO IN CALCE-CANAPA



Figura 15: le prime due fotografie mostrano l'applicazione esterna del biocomposito in calce-canapa, l'ultima mostra un basso rilievo in calce-canapa

1. Si tratta di una progettazione di nuova costruzione o restauro?

“Restauro”.

2. Per cosa è stato utilizzato il biocomposito? Sotto forma di miscela o di blocchi?

“Il calce-canapa è stato utilizzato come miscela per la realizzazione di un termointonaco esterno sulla facciata principale dell'abitazione, ma ho sperimentato anche l'utilizzo per eseguire un basso-rilievo”.

MISCELA

1. Perché ha scelto proprio questo materiale? È stata una sua scelta o della committenza?

“É un materiale che mi appassiona molto e quindi ho deciso io di utilizzarlo per una mia abitazione”.

2. Com'era la superficie sulla quale è stata utilizzata la miscela? Da quanto tempo è stata applicata?

“La superficie era composta da un vecchio intonaco a base di calce, ed ho iniziato l'applicazione circa un paio di settimane fa, la sto terminando ora”

3. Come è stata composta la miscela? Quali materiali sono stati scelti e perché?

“Questa volta ho deciso di sperimentare un prodotto già confezionato costituito da calce, pozzolana e fibre di dimensioni inferiori ad 1 cm al quale andrebbe aggiunto solo acqua; ma ho deciso di aggiungerci anche grassello di calce e canapulo di una pezzatura leggermente più grande di quello presente nel sacco già pronto. Per ogni sacco di premiscelato aggiungo circa 6 litri d’acqua”

4. Ha avuto qualche particolare accortezza durante la preparazione della miscela?

“Di solito faccio molta attenzione al quantitativo d’acqua da aggiungere. Infatti, a seconda della giornata (soleggiata, piovosa, afosa o umida) ne aggiungo un certo quantitativo. Inoltre, per quanto riguarda quest’ applicazione ho deciso di aggiungerci grassello di calce per ottenere una miglior plasticità e del canapulo di pezzatura leggermente più spessa per ottenere una maggior consistenza”.

5. Come è stato applicato? Ha posto qualche particolare attenzione?

“Il principale motivo per il quale ho scelto il prodotto premiscelato è che volevo utilizzarlo con un macchinario che avevo già, ma non ha funzionato quindi ne abbiamo utilizzato un altro a spruzzo chiamato “tigre”. A posteriori avrei composto io la miscela poiché credo abbia delle prestazioni migliori. Comunque, non ho riscontrato grandi problematiche, l’importante è non sovrapporre il materiale nell’applicazione e farlo asciugare prima della realizzazione di uno strato successivo. Al termine viene liscio tutto con un frattone per renderlo omogeneo”.

6. Ha riscontrato qualche criticità durante l’applicazione? E dopo?

a. Se sì, sono state risolte? Come?

“Con l’utilizzo del premiscelato nella parte che ho terminato si sono verificate alcune crepe dovute al ritiro del materiale che sistemerò una volta terminato tutto, ma per ora nella parete in cui ho aggiunto grassello di calce e canapulo non si sono presentate”.

