



Politecnico di Torino

Collegio di Architettura

Tesi di Laurea Magistrale in Architettura per il Progetto Sostenibile

A.a. 2022/2023

Febbraio 2023

LA CANAPA NELL'ISOLAMENTO A CAPPOTTO

Sistemi a confronto

Relatrice:

Elena Piera Montacchini

Candidata:

Gloria Isaia - s287661

Correlatrice:

Angela Lacirignola

“Il futuro appartiene a coloro che credono alla bellezza dei propri sogni.”

-ELEANOR ROOSEVELT



INDICE

ABSTRACT	7
INTRODUZIONE - LE SFIDE DEL NOSTRO SECOLO	10
CAPITOLO 01 - LA CANAPA	15
1.1 Caratteri botanici	16
1.2 L'origine e la diffusione	17
1.3 Il ritorno della canapa in Italia: le Associazioni promotrici	19
1.4 La canapa nel settore edilizio	20
1.4.1 Le varietà adatte all'edilizia e la coltivazione	21
1.4.2 I prodotti del settore edilizio	23
CAPITOLO 02 - CONGLOMERATO IN CALCE E CANAPA	28
2.1 Il conglomerato in calce e canapa in edilizia	29
2.2 I costituenti	32
2.3 La miscela	35
2.3.1 Le proprietà	36
2.4 Campi di applicazione	41
CAPITOLO 03 - PANNELLI IN FIBRA DI CANAPA	46
3.1 I costituenti	47
3.2 I pannelli	51
3.2.1 Le proprietà	52
3.3 Campi di applicazione	58
CAPITOLO 04 - CAPPOTTO IN CANAPA: POSA IN OPERA	60
4.1 Il sistema a cappotto	61
4.2 Cappotto in canapa: posa in opera "a umido"	62
4.2.1 Il conglomerato in calce e canapa	63
4.2.2 Caso Studio 01	72
4.2.3 I pannelli in fibra di canapa	78
4.2.4 Caso Studio 02	84
4.3 Cappotto in canapa: posa in opera "a secco"	89
4.3.1 I pannelli in fibra di canapa	89
4.4 Condizioni di posa	92
4.5 Stoccaggio dei materiali	92

CAPITOLO 05 - SISTEMI A CONFRONTO	93
5.1 Definizione dei Prototipi	94
5.2 Parametri di confronto	99
5.2.1 Inerzia termica	99
5.2.2 Massa superficiale	102
5.2.3 Spessore	103
5.2.4 Consumo di acqua	105
5.2.5 Posa in opera	108
5.2.6 Sfridi di lavorazione	109
5.2.7 Costi	109
5.2.8 Fine vita	110
5.3 Conclusioni generali	114
CONCLUSIONI	118
FONTI	121
RINGRAZIAMENTI	127
ALLEGATO 01 - SCHEDE TECNICHE	129



ABSTRACT

Abstract - IT

Le attuali condizioni del nostro pianeta sono preoccupanti. Le emissioni di gas serra in ambiente sono in continuo aumento, il surriscaldamento globale ha raggiunto livelli allarmanti e gli eventi estremi sono sempre più frequenti. Le attività umane sono le principali cause di questi fenomeni e per questo, negli ultimi anni, i governi si sono mossi verso nuove iniziative e politiche al fine di ridurre le emissioni, attenuare lo sfruttamento di risorse non rinnovabili e prevenire eventi catastrofici, con l'obiettivo di preservare il futuro del pianeta.

Il settore edile, in questo dibattito ha un ruolo chiave: è infatti responsabile del 28% delle emissioni di anidride carbonica e del 30% dei consumi energetici mondiali¹. Inoltre, nella nostra nazione, le condizioni del patrimonio immobiliare esistente rendono lo scenario critico, facendo emergere, nell'immediato, la richiesta di intervenire riqualificando energeticamente gli immobili. Questo, ha fatto sì che negli anni, gli studi e le ricerche si siano focalizzate sull'individuazione di tecnologie e sistemi più prestanti rispetto a quelle utilizzate in passato. In particolare hanno portato alla riscoperta dei materiali da costruzione di origine naturale, rinnovabili, in grado di assorbire gli inquinanti e con una ridotta energia incorporata.

Il presente lavoro nasce dall'interesse per la preoccupante situazione climatica e ambientale, campanello di allarme per la salvaguardia del pianeta, e ha come obiettivo la valutazione, su più parametri, dei prodotti in canapa impiegati nell'isolamento a cappotto.

L'elaborato si articola in **cinque capitoli**: il **primo**, dopo una breve introduzione dei caratteri botanici, ripercorre l'origine e la diffusione della canapa in Italia e nel mondo, soffermandosi poi sul suo utilizzo nel settore edilizio. Nel **secondo** e nel **terzo capitolo**, vengono presentati il conglomerato in calce e canapulo e i pannelli in fibra di canapa, trattando la loro natura, i costituenti, le proprietà e i rispettivi campi di applicazione. Il **quarto** si focalizza sull'impiego del conglomerato in calce e canapulo e dei pannelli in fibra di canapa nell'isolamento a cappotto, descrivendo le fasi della posa in opera e illustrando due reali "Casi Studio" che ho avuto modo di seguire direttamente. Nel **quinto capitolo**, dopo la progettazione di tre prototipi di parete isolati esternamente, viene fornito un confronto a seguito dell'individuazione di alcune rilevanti caratteristiche. Infine, l'ultima sezione è dedicata alle **conclusioni** sulla base di quanto trattato nelle parti precedenti.

1. Fonte: www.greenreport.it, consultato il 07/07/2022

Abstract - EN

The current state of our planet is worrying. Greenhouse gas emissions to the environment are constantly rising, global warming has reached alarming levels, and extreme weather conditions are increasingly frequent. Human activity is the main cause of these phenomena and that is why, in the last years, governments have moved towards new ventures and policies in order to lower emissions, lessen the use of non-renewable resources, and prevent catastrophic events, with the purpose of preserving the future of the planet.

The construction sector has a main role in this debate: it is, in fact, responsible for 28% of carbon dioxide emissions and 30% of global electricity consumption¹. Furthermore, in our country, the conditions of real estate property make for a critical scenario, revealing the need to intervene, in the immediate future, by energetically redeveloping buildings. This, over the years, led to studies and research focusing on finding better performing technology and building systems than the ones used in the past. In particular, it led to the rediscovery of naturally sourced, renewable building materials, able to absorb pollutants, and with a reduced incorporated energy.

The following dissertation has developed from the concern for the worrying climate and environmental situation, which represents a wake-up call for the preservation of the planet, and the work aims to study hemp products used in external insulation and finishing systems, through the evaluation of several parameters. The thesis work is divided into **five chapters**: **the first** one, after an introduction about botanical characters, retraces the origin and diffusion of hemp in Italy and all over the world, focusing on its use in the construction sector. In **the second** and **third chapters**, hempcrete and hemp fibre panels are presented, dealing with their nature, components, properties, and respective fields of application. **The fourth chapter** focuses on the use of hemplime, as well as hemp fibre panels, in external insulation and finishing systems, by describing their installation and describing two actual case studies, which I had the opportunity to follow directly. In **the fifth chapter**, after designing three prototypes of externally insulated walls, a comparison based on the identification of relevant features is provided. Lastly, the last section deals with **conclusions**, as a result of what has been debated and described in the foregoing.

1. Fonte: www.greenreport.it, consultato il 07/07/2022



INTRODUZIONE

LE SFIDE DEL
NOSTRO SECOLO

La questione ambientale

Una tra le più preoccupanti sfide che l'intero pianeta è chiamato ad affrontare è la "questione ambientale", diventata oggi anche una questione sociale per il ruolo significativo che ha assunto nel dibattito pubblico e nell'opinione pubblica.

La Rivoluzione Industriale, ha portato cambiamenti significativi nel mondo grazie al progresso della tecnologia e alla combustione delle fonti fossili (carbone, gas e petrolio) per la produzione di energia, che si è rivelata poi la principale causa di incremento dell'inquinamento atmosferico.

Come testimoniano recenti studi, fino alla metà del XX secolo le emissioni di anidride carbonica subiscono una graduale crescita arrivando, negli ultimi anni, a toccare livelli mai visti prima. È interessante osservare come, durante il periodo pandemico che ha coinvolto l'intero pianeta nell'arco del 2020 e lo stop di gran parte delle attività produttive e non solo, i rilasci siano diminuiti, per poi ritornare ai livelli pre-pandemia².

Conseguenza dell'incremento della concentrazione dei gas ad effetto serra (GHG)³ è l'alterazione dell'equilibrio termico, che ha portato ad un importante aumento della temperatura media globale rispetto ai livelli preindustriali. Questo sbilanciamento è causa di una serie di effetti, tra cui lo scioglimento dei ghiacciai e del manto nevoso, l'innalzamento del livello marino e, infine, una maggiore probabilità di eventi estremi quali alluvioni, ondate di calore e siccità.

L'importanza della questione legata al surriscaldamento globale, ha fatto sì che nel 1992, con la Conferenza Internazionale su Ambiente e Sviluppo di Rio de Janeiro, si apra la lotta al cambiamento climatico. Altra tappa che ha assunto un ruolo cruciale nella lotta per il clima è l'Accordo di Parigi del 2015, entrato in vigore nel 2016, e firmato da 195 paesi accomunati dall'obiettivo di ridurre le emissioni al fine di contenere l'incremento della temperatura media globale sotto la soglia dei 2° C, rispetto all'era preindustriale⁴.

Negli anni seguenti, la situazione però non è cambiata. Le emissioni di CO₂ sono in continuo aumento e, nonostante sia molto tardi per evitare le possibili conseguenze dei nostri comportamenti, si può ricorrere a strategie di mitigazione e di adattamento tali da attenuarle e raggiungere, entro il 2050, la totale decarbonizzazione. Ciò favorisce quindi un'economia che possa garantire zero emissioni nette di gas serra in atmosfera⁵.

2. Fonte: www.isprambiente.gov.it, consultato il 24/11/2022

3. Greenhouse Gases

4. Fonte: www.ec.europa.eu, consultato il 24/11/2022

5. Fonte: www.climate.ec.europa.eu, consultato il 24/11/2022

La questione energetica

Oltre ai problemi ambientali, ci troviamo però a dover affrontare anche le questioni energetiche.

La transizione energetica che, dalle tradizionali fonti vegetali e organiche, ha portato all'utilizzo di quelle fossili (carbone, petrolio, gas ecc.), ha creato una forte discontinuità nella disponibilità e nell'uso dell'energia.

Fino alla metà del IX secolo, tra le principali fonti energetiche utilizzate ritroviamo la legna, fonte di energia termica per eccellenza, il vento utilizzato come motore per la navigazione e l'acqua per l'azionamento dei mulini.

Dal XIV secolo, la diffusione dei combustibili fossili portò alla svolta nel 1769 con la Rivoluzione Industriale, durante la quale furono protagonisti di un fiorente utilizzo, diventandone la base per la moderna crescita economica. Il miglioramento delle tecniche di estrazione del petrolio ha fatto sì che, molto rapidamente, questo si sostituisse al carbone per le sue favorevoli caratteristiche, quali la facilità di trasporto, un ridotto impatto sull'ambiente e un migliore potere calorifero.

Negli anni '70 (nel 1973 e nel 1979) due grandi crisi petrolifere ne rallentarono la produzione, aumentandone il costo, determinando una riduzione dei consumi. Questi due eventi aprirono dibattiti e scontri in merito all'utilizzo delle fonti non rinnovabili e al fatto che vi sia una forte dipendenza dei paesi maggiormente sviluppati verso coloro che sono i detentori delle risorse ad uso energetico. Questo fu un punto di svolta che fece riemergere l'interesse per le fonti rinnovabili iniziando a parlare di risparmio energetico, di sostenibilità e di ecologia⁶.

Nelle attuali circostanze, l'energia è uno dei principali fattori da prendere in considerazione nel dibattito in materia di sviluppo sostenibile, il quale richiede un utilizzo efficiente ed efficace delle risorse energetiche, prediligendo fonti di energia rinnovabile.

Edilizia e consumi

Il "boom economico" ha portato grandi cambiamenti anche nel settore edilizio. Negli anni '60 del Novecento, le grandi migrazioni, che dalle aree rurali hanno condotto i lavoratori alle zone industriali, l'aumento dei redditi familiari e i danni agli immobili dovuto alla recente conclusione delle guerre, sono le principali cause dell'incremento dei consumi energetici in questo ambito.

Nel periodo post-bellico, la necessità di costruire ha generato un'espansione edilizia (in prevalenza nell'area settentrionale)

6. TONINELLI P. A., *Lo sviluppo economico moderno - dalla rivoluzione industriale alla crisi energetica (1750-1973)*, Venezia, Marsilio, 1997

mai vista prima portando, in soli vent'anni (dal 1951 al 1971), un aumento del 49,6% degli edifici realizzati sul territorio nazionale. Per questo, gran parte del patrimonio italiano è ormai vetusto, infatti, *“l'8% delle abitazioni sono state realizzate in Italia dopo il 1991, addirittura il 92% è stato realizzato prima del 1990, il 75% prima della famosa legge 373 del 1976 sul tema del risparmio energetico”*⁷ e si identifica tra i maggiori responsabili dei consumi energetici, dovuto anche al basso tasso di rinnovamento degli immobili (0,85%)⁸. Questo fa sì che il raggiungimento degli obiettivi europei fissati in materia di emissioni di gas serra ed efficienza energetica, sia ancora molto lontano.

Questi fabbricati sono interessati da grandi dispersioni termiche, sia nei componenti opachi, che trasparenti, per la scarsa o assente coibentazione. Di conseguenza, la richiesta energetica per raggiungere il comfort termico è elevata, portando ad un ammontare annuo di 47,1 miliardi di euro relativi ai consumi elettrici e termici⁹.

Il tema della riqualificazione energetica deve quindi essere affrontato nell'immediato.

Agire riqualificando l'involucro

Per involucro edilizio si intende *“il diaframma tra l'ambiente interno e l'ambiente esterno, diaframma che serve per proteggere e controllare i parametri microclimatici interni, utili per la corretta vita, seguendo parametri di comfort ambientale degli utenti”*¹⁰. Analogamente, possiamo considerarlo come la corrispondenza dell'epidermide umana, capace di proteggerci dalle condizioni esterne.

Quindi, è compito del progettista studiare e progettare dettagliatamente l'involucro, soffermandosi sull'adeguata scelta materica, tecnologica e sulla corretta disposizione dei vari strati che lo costituiscono, mirando al raggiungimento di determinati livelli di isolamento termico e alla riduzione, in fase di gestione, dei costi di condizionamento, sia invernale che estivo.

I materiali isolanti hanno un ruolo cruciale e le loro caratteristiche devono essere idonee per la riduzione degli scambi, portando a risparmi sui consumi energetici dell'80% circa, rispetto a quelli pre-intervento. Al tempo stesso però, essendo gran parte della nostra vita trascorsa in “luoghi chiusi”, l'uso di prodotti traspiranti, igroscopici, atossici è fondamentale per rendere ancora più vivibile e confortevole lo spazio interno.

Proprio per questo, la scelta di isolanti di origine organica come la canapa, può migliorare la salubrità e la vita degli occupanti e, grazie alla loro sostenibilità, ne deriva un minor impatto sull'ambiente.

7. DE MARTIN P., *Manuale di Progettazione per la riqualificazione energetica*, Santarcangelo di Romagna, Maggioli Editore, 2021;

8. Fonte: www.larepubblica.it, consultato il 24/11/2022

9. Fonte: www.larepubblica.it, consultato il 24/11/2022

10. FIORITO F., *Involucro edilizio e risparmio energetico. Soluzioni progettuali e tecnologiche*, Palermo, Dario Flaccovio Editore, 2009

11. Si tratta di un'agevolazione fiscale per interventi di riqualificazione energetica. Sono compresi interventi di miglioramento termico dell'edificio, la sostituzione di impianti e caldaie e la sostituzione dei serramenti.

Fonte: www.ediltecnico.it, consultato il 25/11/2022

12. E' un'agevolazione fiscale regolata dal Decreto Rilancio (art.119 del D.l n. 34/2020). Questo consente la detrazione delle spese (a partire dal 1/07/2020) relativi agli interventi di consolidamento statico, efficienza energetica e riduzione del rischio sismico. In aggiunta rientrano anche l'installazione delle colonnine di ricarica per veicoli elettrici e l'installazione del fotovoltaico. In particolare, tra gli interventi agevolabili o trainanti ritroviamo: l'isolamento termico dell'involucro, la sostituzione degli impianti per il riscaldamento e gli interventi antisismici.

Fonte: www.agenziadellentrare.gov.it, consultato il 25/11/2022

13. Fonte: www.larepubblica.it, consultato il 25/11/2022

Negli ultimi anni, numerosi sono gli incentivi e le agevolazioni fiscali messe in atto dal Governo italiano, tra cui l'Ecobonus¹¹ e il Superbonus¹² 110%. Questi contribuiscono significativamente al miglioramento del fabbisogno energetico del Paese mediante la riqualificazione e l'efficientamento del patrimonio esistente, incrementando fino all'1,2% il tasso di rinnovo, anche se ancora lontano dal target europeo¹³ stabilito del 2,1%.

Inoltre, agire riqualificando e risanando limita il consumo di suolo, sfruttando l'esistente molto spesso dismesso e, inoltre, comporta una ridotta quantità di materiali impiegati e di scarti.



CAPITOLO 01

LA CANAPA

1.1 - Caratteri botanici

La canapa, anche conosciuta come *Cannabis*, appartiene alla famiglia delle Cannabinacee (anche dette Cannabacee), all'interno della quale è possibile distinguere tre sottospecie: *Canapa Indica* con elevate quantità di tetraidrocannabinolo (THC) per usi psicoattivi, *C. Rudelaris* (selvatica) e *C. Sativa* o *C. industriale*, utilizzata per la produzione di fibre.

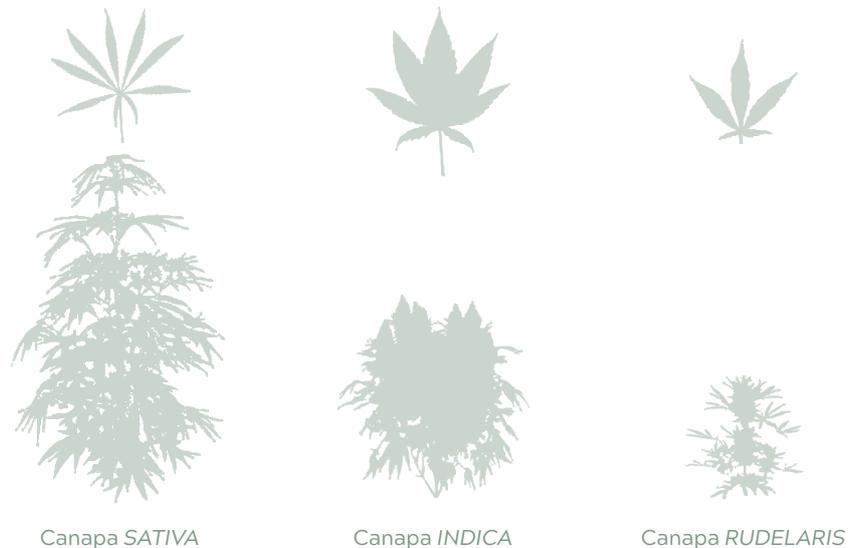


Figura 1.01 - Le tre varietà di canapa

Fonte: www.philosopherseeds.com, consultato il 22/07/2022

Il suo fusto dritto, al tatto ruvido e peloso, ha un'altezza variabile tra 1 e 4/5 m, a seconda della varietà, ed è costituito da più strati: esternamente vi è l'epidermide e le cuticole che proteggono e contribuiscono al rinforzo meccanico dello stelo e, nella parte più interna vi è il midollo. Tra queste due zone troviamo ancora la corteccia, il floema all'interno del quale sono presenti i fasci di fibre, il cambio e lo xilema. I tre strati più interni (cambio, xilema e midollo) rappresentano la componente legnosa e costituiscono approssimativamente il 75% della massa dello stelo, sono responsabili della conduzione durante il processo di fotosintesi e della distribuzione dei nutrienti dalle radici al resto della pianta¹⁴.

14. Fonte: www.equilibrium-bioedilizia.it, consultato il 22/07/2022

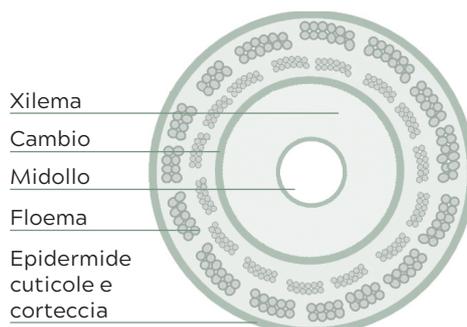


Figura 1.02 - Sezione dello stelo di canapa

Fonte: www.sciencephoto.com, consultato il 22/07/2022

Di facile riconoscimento sono le sue foglie palmate e seghettate. I fiori si distinguono in femminili (di colore verdognolo) e maschili (di colore giallino) e sono raggruppati in inflorescenze.

1.2 - L'origine e la diffusione

Ancora oggi l'origine della canapa è al centro di numerosi dibattiti: alcune ricerche l'hanno datata a 12 mila anni fa, mentre altre, a 8 mila anni fa. Incerta è anche la provenienza, anche se, gran parte degli esperti, attribuisce l'origine della *C. Sativa* nell'Asia Centrale con successiva estensione in Europa, mentre quella *Indica* in Afganistan, arrivando poi in Cina, in Giappone e in Africa.

In Europa, a seguito di alcune recenti analisi polliniche¹⁵ negli strati del suolo, sono stati raccolti dati a testimonianza che la canapa selvatica fosse radicata e diffusa ancor prima che l'uomo iniziasse a coltivarla. In Bulgaria, sono state ritrovate tracce di un polline e un seme fossile, presumibilmente risalenti al Tardo Miocene (tra 11 e 6 milioni di anni fa); in Polonia e in Italia pollini datati intorno ai 200 e i 100 mila anni fa e altri resti più tardivi (70 e 18 mila anni fa) in altri stati europei¹⁶.

Oltre al reperto già in precedenza citato, in Italia, vicino a Roma¹⁷, sono venute alla luce, tracce datate intorno all'11.500 a.C., altre invece, in alcuni siti dell'Emilia-Romagna appartenenti al periodo Neolitico Medio¹⁸ (4.500-4.000 a.C.).

Nell'area laziale, sono numerosi i ritrovamenti di origine etrusca, popolo che in passato coltivò la canapa per la realizzazione di capi d'abbigliamento e per uso alimentare. Successivamente, trovò impiego anche nell'antica Roma per la produzione di corde e vele delle imbarcazioni. Dall'Impero Romano in poi, grazie alla sua buona qualità e resistenza all'acqua salata, si rivelò il materiale per eccellenza nell'ambito nautico.

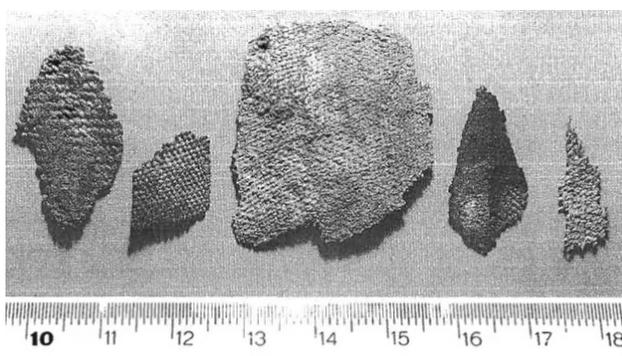


Figura 1.03 - "Frammenti di tessuti di canapa ritrovati in una tomba del periodo romano del sito di Albintimilium, Ventimiglia, datati al IV-V secolo d.C."

Fonte: ROBBA D., CARAMIELLO R., MARTINO G. P., *Indagini paleobotaniche su reperti di una tomba del IV-V secolo d.C. rinvenuta ad Albintimilium (Ventimiglia, Liguria)*, Rivista di Studi Liguri, vol. 63-64, 1997-98, pp. 323-336

15. Analisi di quantificazione e riconoscimento pollini

16. MCPARTLAND J., GEOFFREY W. G., HEGMAN W., *Cannabis indigenous to Europe and cultivation began during the Copper or Bronze age: a probabilistic synthesis of fossil pollen studies*, Vegetation History and Archaeobotany, vol. 27, 2018, pp. 635-648

17. MERCURI A. M., ACCORSI C. A., BANDINI MAZZANTI ., *The long history of Cannabis and its cultivation by the Romans in central Italy, shown by pollen records from Lago Albano and Lago di Nemi*, Vegetation History and Archaeobotany, vol. 11, 2002, pp. 263-276

18. MARCHESINI M., GOBBO I., MARVELLI S., *Ricostruzione del paesaggio vegetale nel Neolitico medio in Emilia Romagna attraverso le indagini palinologiche*, Rivista di Studi Liguri, 2011/13, pp. 63-70

19. Campo di coltivazione della canapa.

Fonte: www.treccani.it, consultato il 22/07/2022

20. PERLETTI M. A., *Costruire sostenibile con la canapa. Guida all'uso in edilizia di un materiale naturale e innovativo*, Santarcangelo di Romagna, Maggioli Editore, 2020

Durante il Medioevo, la *C. Sativa*, utilizzata per la produzione di fibra, ha preso piede in gran parte delle regioni italiane grazie alle condizioni climatiche favorevoli. Nel Lazio ad esempio, venne assegnato ad ogni famiglia contadina un canapaio¹⁹, in Piemonte l'abbondante raccolto venne venduto alle Repubbliche Marinare (Genova e Venezia) per la produzione di cordame e di vele delle flotte. In Emilia Romagna, la sua diffusione è più tardiva e risalente al '400²⁰.

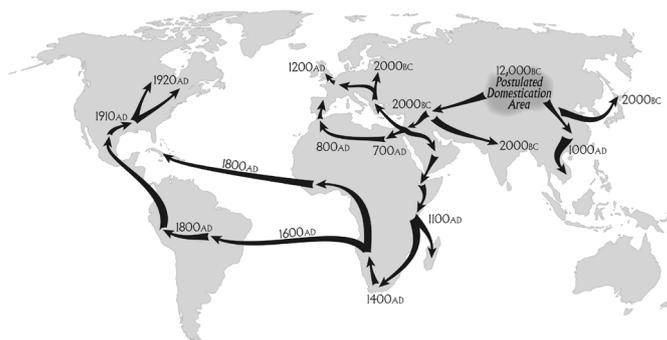


Figura 1.04 - “Mappa della diffusione della canapa nel mondo”

Fonte: www.researchgate.net, consultato il 22/07/2022

Grazie all’ottima qualità della sua fibra, l’Italia, tra gli anni ’40 e ’50 del Novecento, è diventata la seconda produttrice al mondo dopo l’Unione Sovietica, sia per il fabbisogno nazionale, che per i Paesi esteri, ricevendo il primato per l’esportazione. Le regioni settentrionali quali Piemonte, Emilia-Romagna e Lombardia, sono le protagoniste di questo florido sviluppo.

Dopo la Seconda Guerra Mondiale, la ripresa economica e l’industrializzazione hanno favorito l’introduzione delle fibre sintetiche importate dagli Stati Uniti come il nylon, sostituendo a poco a poco questo materiale e riducendo tra il 1943 e il 1970 gli ettari coltivati, che passarono da 105.000 a 1.000 su tutto il territorio nazionale²¹.

In aggiunta, oltre alla questione commerciale, ci si trova a dover affrontare anche quella legislativa: nel 1961, l’Italia sottoscrive la “*Single Convention on Narcotic Drugs*”, successivamente aggiornata nel 1971 e 1988, con l’intento di eliminare, entro 25 anni, la canapa. Il definitivo abbandono sul nostro territorio è segnato poi dalla “*Legge Cossiga*”²² del 1975.

Il suo ritorno risale al 2 dicembre 1997, grazie alla Circolare n°. 734 del Ministero delle Politiche Agricole²³, all’interno della quale sono inserite alcune regole specifiche da seguire per gli agricoltori interessati.

Nel 2016, la Legge n° 242 del 2 dicembre, contiene le “*Disposizioni per la promozione della coltivazione e della filiera agroindustriale della canapa*”²⁴ favorendo la reintroduzione nel comparto industriale. Questa normativa si focalizza solamente sulla Canapa

21. BACCI L., BARONTI S., ANGELINI L., *Manuale di coltivazione e prima lavorazione della canapa da fibra*, Firenze, Istituto di Biometeorologia del CNR, 2007

22. LEGGE 22 dicembre 1975, n. 685, *Disciplina degli stupefacenti e sostanze psicotrope. Prevenzione, cura e riabilitazione dei relativi stati di tossicodipendenza*

23. CIRCOLARE 2 dicembre 1997, n. 734, *Disposizioni relative alla coltivazione della Cannabis sativa L. (Canapa da “tiglio”)*

24. LEGGE 2 dicembre 2016, n. 242, *Disposizioni per la promozione della coltivazione e della filiera agroindustriale della canapa*, entrata in vigore il 14/01/2017

Sativa L. poiché al suo interno è contenuta una piccola quantità di THC, il cui limite imposto dalla legge non deve superare lo 0,3%. Inoltre, le coltivazioni sono soggette a contributi al fine di migliorarne le condizioni di trasformazione di produzione.

Per la coltivazione della *Cannabis Sativa* o Industriale, ad oggi non sono richieste autorizzazioni specifiche: è però necessario fare riferimento alle 70 varietà inserite all'interno del Registro Europeo²⁵. Lo Stato italiano ne incentiva la piantagione poiché in grado di ridurre l'impatto ambientale, il consumo del suolo, la desertificazione e la perdita della biodiversità.

25. Consultabile sul "Plant variety database" della Commissione Europea

1.3 - Il ritorno della canapa in Italia: le Associazioni promotrici

Dopo la crisi della canapicoltura in Italia che ha preso il sopravvento dopo la Seconda Guerra Mondiale, alcuni enti hanno messo in campo le loro forze per promuoverne e diffonderne l'utilizzo.

Nel 1998, a Carmagnola (TO), è nata **ASSOCANAPA** - *Coordinamento Nazionale per la Canapicoltura*, Associazione che negli anni ha riunito tutti coloro, sia società che privati, che nutrono interesse per la lavorazione e coltivazione della canapa industriale²⁶.

26. Fonte: www.assocanapa.it, consultato il 28/07/2022

Nel 1999, l'Associazione ha acquisito la "Concessione dei diritti per la moltiplicazione e per la commercializzazione" delle più famose varietà italiane (Carmagnola Selezionata e Carmagnola). Questo ha permesso l'approvvigionamento del seme ai richiedenti e, grazie alla continua collaborazione con Enti di Ricerca²⁷, la garanzia di assistenza in caso di problemi nelle fasi di produzione.

27. CREA CIN ex ISCI (Istituto Sperimentale Colture Industriali)

A seguito di un'intensa campagna di sensibilizzazione e di promozione tramite seminari, eventi e convegni, ha radunato in pochi anni moltissimi soci interessati.

Attualmente, Assocanapa si compone di tre differenti soggetti giuridici:

- Il Coordinamento Nazionale per la Canapicoltura;
- Assocanapa S.r.l., nata nel 2002 con l'obiettivo di riprodurre sementi, realizzare e progettare l'attrezzatura necessaria alla lavorazione, fornire i campioni di materiali, creare collaborazioni, promuovere l'Associazione con attività e richiedere fondi per finanziare le ricerche;
- Cooperativa Produttori Canapa Italiana (PROCAIT) costituita da oltre settanta aziende agricole piemontesi.

Nel 1998, nei Comuni di Comacchio e Portomaggiore, venne avviata una campagna di sperimentazione per riattivare la

coltivazione della canapa, con un totale di 21 ettari coltivati. Un anno dopo, a Ferrara, venne istituito il **Consorzio** con l'obiettivo di avviare una filiera che possa includere tutte le fasi, partendo dalla coltivazione fino alla lavorazione, coinvolgendo diversi settori tra cui quello cartario e quello tessile. In breve tempo, ha poi acquisito la fiducia di numerose aziende, della Regione Emilia-Romagna e dell'assessorato all'Agricoltura, consapevoli dei valori di questa fibra.

28. Fonte: www.gruppofibranova.it, consultato il 28/07/2022

Altro contributo fondamentale è quello del **Gruppo Fibranova S.r.l.**²⁸, società nata nel 2000 con la missione di fare da elemento di unione tra le attività agricole e la trasformazione del raccolto in prodotti finiti, concentrandosi sul tema della sostenibilità.

29. Fonte: www.canapaindustriale.it, consultato il 28/07/2022

Attualmente, tra le principali associazioni italiane che si occupano della coltivazione e dell'informazione sugli svariati usi del materiale abbiamo²⁹:

- Agricanapa, nata in provincia di Brescia nel 2014 con l'obiettivo di sviluppare una filiera corta;
- Associazione Produttori Canapa Marche (APROCAMA), nata nel 2013 per riunire le aziende agricole del settore e coordinarne lo sfruttamento;
- Associazione Canapa Sicilia (ACS), attiva dal 2013 per introdurre nuovi prodotti (bioedilizia, cosmesi, ecc.) sul mercato;
- Canabruzzo per la promozione, tutela e diffusione della coltivazione in Italia;
- Canapa Ligure, che mira alla sensibilizzazione;
- CanapAmo, nata in Umbria;
- Federazione della Canapa Italiana - Federcanapa, nata come supporto alle iniziative delle Regioni, in riferimento sia ai coltivatori che ai trasformatori del prodotto e concentrata sulla sostenibilità;
- Toscanapa;
- Sud Canapa;
- Sativa Molise.

1.4 - La canapa nel settore edilizio

In Italia, la diffusione nell'ambito edilizio risale alla seconda metà del XX secolo, quando venne promulgata la Legge n. 373/76 sulla riduzione dei consumi energetici dal punto di vista termico, incentivando l'utilizzo dei materiali isolanti, tra questi i pannelli in fibra di canapa³⁰. Essendo materiali di produzione estera, di difficile reperimento e poco conosciuti, non hanno subito trovato

30. LEGGE 30 marzo 1976, n. 373, *Norme per il contenimento del consumo energetico per usi termici negli edifici*

un fiorente utilizzo.

Dopo la crisi della canapicoltura, nell'ultimo decennio del '900, l'uso industriale della canapa è diventato oggetto d'interesse comune. Vengono così messe in campo numerose ricerche sulle tecniche di coltivazione e sui prodotti che da essa ne derivano. Di grande rilevanza è il "Congresso delle colture no-food"³¹ del 2003, presso l'Università di Bologna, che ha avuto l'esclusiva, nella nostra nazione, sull'uso del canapulo nel campo edilizio, più tardi combinato con la calce.

Si sono poi susseguiti una serie di studi in merito ai benefici che questa dà nei confronti dell'ambiente, nella riduzione dei consumi energetici, nella gestione e nella dismissione degli edifici.

1.4.1 - Le varietà adatte all'edilizia e la coltivazione

Per usi industriali la pianta di canapa deve essere caratterizzata da un breve ciclo biologico e di conseguenza da buone capacità produttive. Inoltre, è necessario che nello stelo vi sia una prevalenza della parte legnosa (oltre il 70%), se il prodotto che vogliamo ottenere è a base di canapulo; è richiesta, invece, una prevalenza della parte fibrosa se il prodotto finito è a base di fibra³².

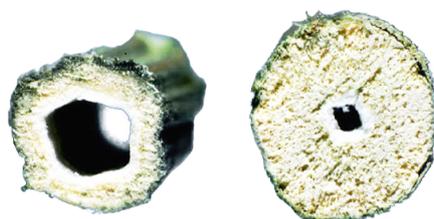


Figura 1.05 - "Sezione trasversale dei fusti di due piante di Canapa. A sinistra un fusto di una varietà medicinale, a destra quello di una varietà industriale da fibra. La varietà da fibra presenta una densità di fibre legnose maggiore rispetto alla varietà medicinale".

Fonte: www.blog.enecta.it, consultato il 02/08/2022

Negli ultimi anni, visto il ritorno d'interesse per questa coltura, si sono compiuti numerosi studi ed esperimenti che potessero migliorarla geneticamente, in particolare per incrementare la percentuale di fibra, considerata come la parte più pregiata dello stelo.

Per l'uso edilizio è bene anche intervenire con tecniche di *breeding*³³ mediante azioni come lo studio del genoma, lo sviluppo di varietà e il recupero e valorizzazione del vecchio genoplasma³⁴.

Attualmente, non vi sono indicazioni specifiche sulle varietà più adatte per questo settore, ma quella monoica (varietà che può avere sia fiori maschili che fiori femminili) sembra essere

31. PERLETTI M. A., *Costruire sostenibile con la canapa. Guida all'uso in edilizia di un materiale naturale e innovativo*, Santarcangelo di Romagna, Maggioli Editore, 2020, p.51

32. PERLETTI M. A., *Costruire sostenibile con la canapa. Guida all'uso in edilizia di un materiale naturale e innovativo*, Santarcangelo di Romagna, Maggioli Editore, 2020, p.46

33. Studi che mirano alla creazione di nuove varietà di canapa con caratteristiche speciali da inserire sul mercato.

34. PPERLETTI M. A., *Costruire sostenibile con la canapa. Guida all'uso in edilizia di un materiale naturale e innovativo*, Santarcangelo di Romagna, Maggioli Editore, 2020, p.47

migliore rispetto alla quella dioica (varietà con fiori di un unico genere, o maschili o femminili) perché ha un ciclo biologico più breve, un'altezza inferiore ed una maggiore robustezza.

La coltivazione

Il periodo ottimale per coltivare la canapa, nelle zone con clima temperato, solitamente è compreso tra marzo e settembre. Questa coltura predilige terreni profondi ad elevata ritenzione idrica, non troppo limosi e argillosi. Essendo una pianta da rinnovo, è necessario che sia preceduta o succeduta da altre colture: ottima se consequenziale a cereali o legumi.

Prima della piantumazione è opportuno valutare con cura la densità della piantagione, perché in grado di influenzare la dimensione del fusto e di conseguenza la percentuale di canapulo e di fibra. Perciò, se l'intento è quello di produrre fibra e canapulo, la densità raccomandata è piuttosto elevata, tra i 50 kg/ha e i 75 kg/ha. Per la produzione del seme³⁵, può essere ridotta a 25 kg/ha, con interfila di circa 70 cm.

La raccolta si svolge in tempi differenti: per la fibra e il canapulo viene fatta al termine della fioritura delle piante maschili, a conclusione della crescita, mentre per il seme, rispetto alla precedente, poco meno di due mesi dopo. Questa si svolge con l'aiuto di appositi macchinari agricoli, come le mietitrebbie (per la raccolta del seme) e le barre falcianti (per i fusti).

Terminata questa fase, gli steli vengono lasciati ad essiccare in campo per qualche settimana, per poi essere imballati e inviati negli stabilimenti di prima trasformazione. I semi, essendo suscettibili all'attacco di muffe, vengono essiccati in luoghi appositi, ad umidità e temperatura controllata.



Figura 1.06 - Campo di coltivazione della canapa

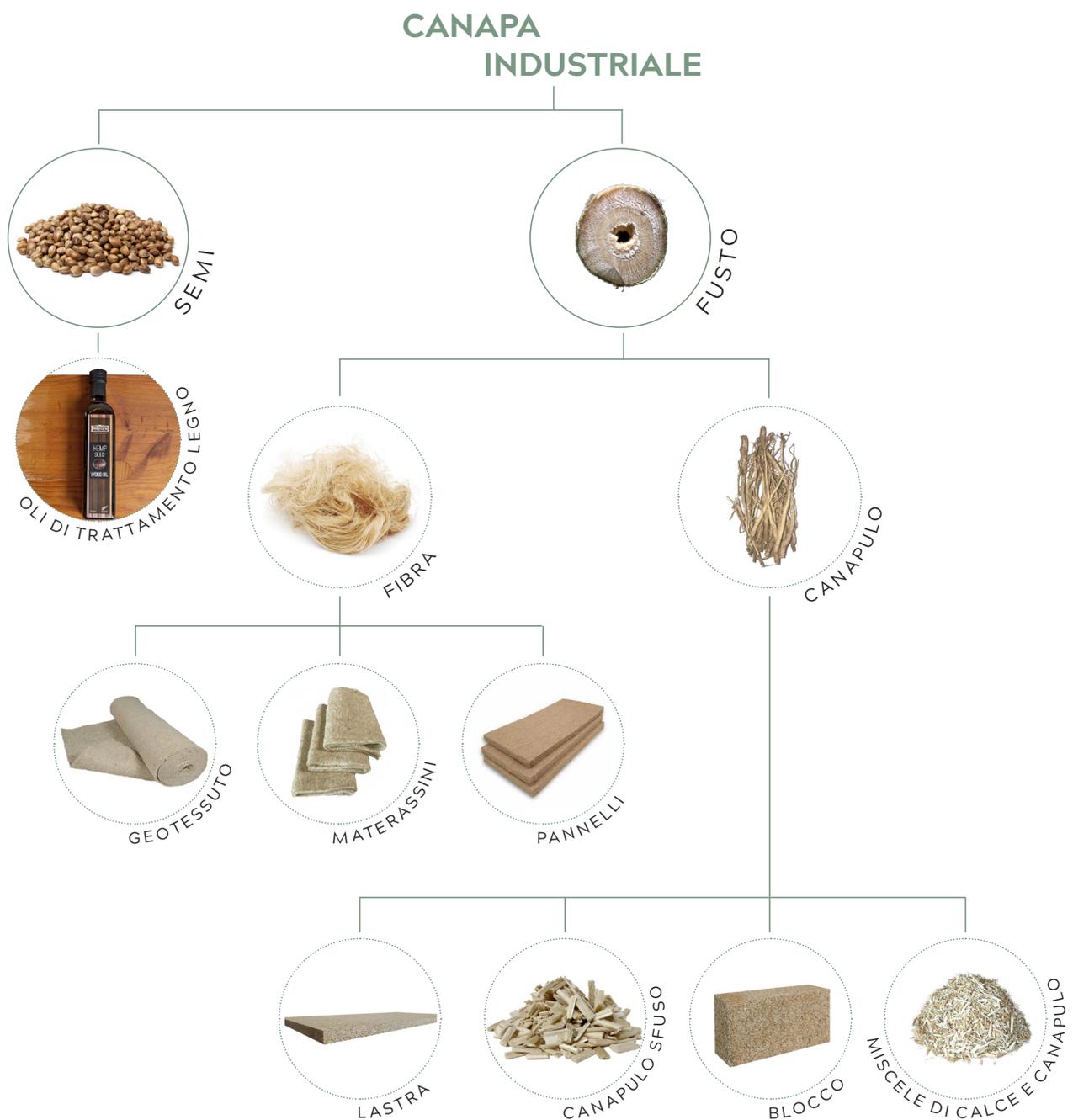
Fonte: www.canapaindustriale.it, consultato il 03/08/2022

35. PROGETTO SCARABEO, *Linee guida per la coltivazione della canapa da seme e fibra*, 2020, p.10

1.4.2 - I prodotti del settore edilizio

I prodotti della canapa industriale presenti sul mercato edilizio sono frutto delle lavorazioni del seme e dello stelo. Dai semi vengono prodotti oli utilizzati per il trattamento di superfici lignee. Dal fusto, a seguito della separazione della fibra dal canapulo, è possibile ottenere prodotti differenti: dalla fibra derivano i materassini, il geotessuto e i pannelli; mentre il canapulo può essere utilizzato sfuso o in alternativa, se miscelato con altri materiali, si ottengono i blocchi, il conglomerato e le lastre.

Schema riassuntivo dei prodotti derivati della Canapa Industriale o *Sativa*.



I prodotti dai semi

Dal processo di pressatura dei semi di canapa si producono oli, sia ad uso alimentare che oli di trattamento per materiali edilizi. Questi ultimi sono prodotti di finitura, privi di solventi e puri al 100%, in grado di creare superfici durevoli ed impermeabili. Nella maggior parte dei casi, vengono applicati su elementi in legno, rivitalizzandoli, condizionandoli e, grazie alla capacità di assorbimento del materiale, è in grado di penetrare all'interno senza lasciare film superficiali, che con il tempo potrebbero degradarsi e usurarsi.

L'applicazione viene effettuata su superfici asciutte, in più strati (anche 4 o 5), a distanza di alcune ore l'una dall'altra e i tempi di asciugatura sono variabili a seconda dell'umidità dell'ambiente e delle temperature esterne.



Figura 1.07 - Olio di semi di canapa per il trattamento del legno
 Fonte: www.hempnz.co.nz, consultato il 03/08/2022

I prodotti dalla fibra

Dall'estrazione e dalla lavorazione della fibra si ricavano materiali isolanti di qualità come i pannelli, il geotessile o geotessuto e i materassini.

I pannelli isolanti in fibra di canapa, grazie alle loro numerose potenzialità e benefici, sono oggi impiegati come alternativa a quelli di matrice polimerica o minerale. Sul mercato sono disponibili in molteplici formati e con differenti densità, a seconda delle prestazioni termiche e acustiche richieste.



Figura 1.08 - Pannello in fibra di canapa



Figura 1.09 - Applicazione dei pannelli in fibra di canapa

Fonte: www.edilcanapasrl.it, consultato il 08/08/2022

Il geotessile, viene normalmente impiegato nell'agricoltura per la pacciamatura (copertura) di qualsiasi tipologia di terreno agricolo, limitando la crescita della vegetazione infestante ed eliminando la necessità di diserbanti chimici. Inoltre, permette la permeabilità dell'acqua, favorisce la protezione dalle radiazioni ultraviolette (U.V.), protegge termicamente le piantagioni e le coltivazioni più giovani, assorbendo lo shock termico notturno. La natura delle sue fibre, gli conferisce la capacità di decomporre naturalmente, risultando quindi un materiale al 100% biodegradabile, in un arco di tempo compreso tra i 12 e i 24 mesi. Nell'ambito edilizio, si rivela un buon isolante acustico se applicato nelle pavimentazioni, contribuendo all'attenuazione del rumore da calpestio. L'utilizzo e la produzione del geotessile in questo campo sono molto diffusi in Francia; in Italia invece, il suo impiego è ancora poco comune.



Figura 1.10 - Geotessuto in fibra di canapa

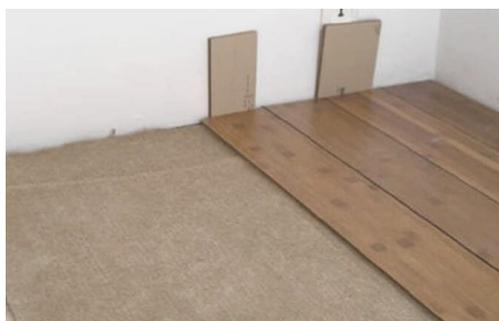


Figura 1.11 - Applicazione del geotessuto in fibra di canapa

Fonte: www.technichanvre.it, consultato il 29/08/2022

I materassini sono anch'essi utilizzati nell'isolamento e trovano applicazione nelle intercapedini delle murature, nei pavimenti e nei controsoffitti. La loro composizione è molto simile a quella dei pannelli e la densità è in genere compresa tra i 20 e i 30 kg/m³. Sono materiali dotati di buona lavorabilità, possono essere facilmente tagliati e adattati a seconda dell'uso, senza il rilascio in ambiente di sostanze tossiche o dannose e polveri.



Figura 1.12 - Materassini in fibra di canapa



Figura 1.13 - Taglio del materassino in fibra di canapa

Fonte: www.technichanvre.com, consultato 29/08/2022

I prodotti dal canapulo

Anche il canapulo, la parte legnosa dello stelo di canapa, ha numerose potenzialità in questo settore e, dall'unione e lavorazione con altri materiali, si ottengono il conglomerato, i blocchi prefabbricati e le lastre. In alternativa, a differenza della fibra può essere utilizzato sfuso.

Il conglomerato è una miscela innovativa, ottenuta combinazione del canapulo con il legante (la calce) e l'acqua, protagonista negli ultimi anni di una florida diffusione. Questo biocomposito si distingue dagli impasti tradizionali per il buon isolamento termico e acustico, la buona resistenza al fuoco e un minor impatto dal punto di vista ambientale.



Figura 1.14 - Conglomerato in calce e canapulo



Figura 1.15 - Applicazione del conglomerato in calce e canapulo

Fonte: www.edilcanapasrl.it, consultato il 30/08/2022

I blocchi prefabbricati sono impiegati nella nuova costruzione e nella ristrutturazione, in particolare per la messa in opera di pareti divisorie interne, di murature perimetrali e di cappotti termici. In commercio sono disponibili in forma parallelepipedica, con formati tali da garantire leggerezza e maneggevolezza, e spessori variabili tra i 10 e i 12 cm, fino a dimensioni più consistenti a seconda degli usi e delle aziende produttrici.

È necessario precisare che, non avendo funzione portante, non possono essere utilizzati per scopi strutturali e necessitano di essere accompagnati da un telaio portante. Quest'ultimo può essere realizzato in legno, in acciaio o in calcestruzzo.

Si distinguono dai tradizionali blocchi per le proprietà isolanti, per la traspirabilità e la regolazione di umidità. Infatti, se impiegati nelle murature perimetrali non richiedono, alle nostre latitudini, ulteriore isolamento.

La posa in opera non si discosta molto rispetto alla posa di elementi in laterizio, in quanto viene eseguita mediante incollaggio con malta di allettamento, anch'essa, possibilmente, a base di canapa.



Figura 1.16 - Differenti formati dei mattoni e blocchi

Fonte: www.tecnocanapa-bioedilizia.it, consultato il 01/09/2022

Fonte: www.edilcanapasrl.it, consultato il 01/09/2022



Figura 1.17 - Applicazione del mattone in calce e canapulo

Il canapulo sfuso, essendo un materiale ad elevata porosità ed igroscopicità, vede impiego per l'isolamento.

La sua applicazione risulta più adatta alle strutture orizzontali in quanto l'assestamento che subisce, se utilizzato in quelle inclinate o verticali, è causa di vuoti e quindi di ponti termici.

Prima della posa "a secco", è consigliato sottoporlo a trattamenti mineralizzanti fungicidi aumentandone la durabilità e, con l'aggiunta di sali di boro, assume una buona resistenza al fuoco e all'aggressione di insetti e muffe.

La posa viene eseguita con sistema "a secco", in pochi semplici passaggi e non necessita di tempi di asciugatura.



Figura 1.18 - Canapulo sfuso

Fonte: www.tecnocanapa-bioedilizia.it, consultato il 01/09/2022

Le lastre si ottengono dalla miscelazione del canapulo e dei leganti, sono elementi autoportanti e rigidi, ideali per la realizzazione di muri con intercapedini, contro-pareti, come materiali isolanti nelle intelaiature e per soffitti o pavimenti. Sono presenti sul mercato in più dimensioni, spessori (da 10 mm a 60 mm) e densità e permettono di raggiungere prestazioni elevate anche con pesi e spessori ridotti.



Figura 1.19 - Lastra in calce e canapulo

Fonte: www.edilcanapasrl.it, consultato il 01/09/2022

Fonte: www.bancadellacalce.it, consultato il 01/09/2022



Figura 1.20 - Applicazione della lastra in calce e canapulo



CAPITOLO 02

CONGLOMERATO IN
CALCE E CANAPULO

2.1 - Il conglomerato in calce e canapa in edilizia

Il biocomposito di canapa-calce (*Hemp-Lime*), anche comunemente chiamato *Hempcrete*, è un materiale da costruzione che ha radici in tempi piuttosto antichi.

Il ritrovamento, da parte degli archeologi, di tracce di un ponte costruito con questo materiale, nel Sud della Francia, hanno fatto pensare che fosse già diffuso nel periodo Merovingio³⁶ (lasso temporale compreso tra il 500 e il 751 d.C.).

Con il passare degli anni ha acquisito grande importanza nell'ambito edilizio in Inghilterra e in Francia, per poi successivamente diffondersi anche sul territorio italiano. Questi Paesi si sono resi protagonisti di numerosi studi in merito ai benefici della miscela, in particolare sull'impatto nei confronti dell'ambiente durante l'intero ciclo di vita, sulle proprietà termiche e acustiche e sulla resistenza al fuoco.

36. Fonte: www.canapaindustriale.it, consultato il 06/09/2022

La diffusione in Francia

In Francia, il suo utilizzo si è originariamente diffuso per preservare gli edifici medioevali con ossatura in legno (soprattutto nella regione di Troyes), sostituendo l'impiego di intonaci a base di cemento³⁷. Questi ultimi si rivelarono inadatti a queste tipologie d'intervento in quanto, rendendo la muratura impermeabile, l'umidità all'interno provocava il rigonfiamento della muratura e il conseguente distacco dello strato d'intonaco.

37. WOOLLEY T., *Natural Building: A Guide to materials and Techniques*, The Crowood Press Ltd, Ramsbury, 2006



Figura 2.01 - Edifici medievali della regione francese di Troyes restaurati con la miscela di canapa e calce

Fonte: www.casanova.bio.it, consultato il 06/09/2022

Quando nella seconda metà del XX secolo la coltivazione della canapa negli altri paesi è scomparsa, la Francia ha mantenuto attive le filiere produttive, garantendone così la disponibilità per la produzione dei derivati. Questo ha favorito l'attività di ricerca anche valorizzando il suo uso nel settore edilizio.

Di fondamentale importanza è il contributo di Charles Rossetti che, negli ultimi anni del 1900, dopo una serie di sperimentazioni sull'unione tra il canapulo e differenti leganti (la calce, il gesso e

il cemento), ha riscoperto l'uso della miscela di canapa e calce. L'argomento è stato in seguito approfondito grazie agli studi e alle ricerche di tre noti personaggi: il fondatore dell'azienda "Isochanvre" France Périer, promotore della produzione e distribuzione del materiale come possibile alternativa al cemento; Yves Khun con "Association d'Adam" e Bernard Boyeux, con l'Associazione "Construire en Chanvre", i quali hanno messo in relazione tutti coloro che nutrivano particolare interesse per questo prodotto.

Nel 2007 con la necessità di affrontare la questione normativa, sono state pubblicate e fissate le "Construire en Chanvre - Règle Professionnelles d'exécution", in grado di regolamentare l'utilizzo del conglomerato in edilizia; aggiornate poi nel 2012 dall'Associazione "Costruire en Chanvre". Ancora oggi quest'ultima, come molte altre, si occupa di ricerca e promozione, e ha di recente pubblicato "Guide des bonnes pratiques: Beton et Mortier de Chanvre".

La diffusione nel Regno Unito

38. Uno dei fondatori di Modence Architects (UK).

Nel Regno Unito, Ralph Carpenter³⁸ è stato il primo a sperimentare l'uso della miscela, in un intervento di edilizia popolare, con l'obiettivo di monitorare le prestazioni (termiche, strutturali e acustiche) grazie al prezioso contributo della società di ricerca "Building Research Establishment".

Nel 2008, viene pubblicata la guida "Hemp Lime Construction - A guide to building with hemp lime composites" che fornisce numerosi dettagli tecnologici per l'applicazione del materiale.

Quattro anni più tardi, "BRE Centre for Innovative Construction Materials", ha condotto un'importante ricerca sulle prestazioni termo-igrometriche del materiale, applicato su un prototipo di fabbricato chiamato "HemPod". L'Università di Bath, ha poi provveduto alla pubblicazione e alla diffusione dei risultati dei test³⁹.

39. I risultati dei test sono consultabili presso: LAWRENCE M., FODDE E., PAINE K., WALKER P., *Hygrothermal Performance of an Experimental Hemp-Lime Building*, University of Bath: Department of Architecture & Civil Engineering, BRE Centre in Innovative Construction Materials, 2012, pp. 413-421,

Nel tempo, nel Regno Unito, numerose sono state le realizzazioni in canapa e calce, sia in ambito pubblico che privato.

La diffusione in Italia

40. Isolanti Naturali e Terra Cruda

Visto il successo della canapa nelle regioni del Nord Europa, in Italia, seminari, conferenze e incontri hanno promosso l'uso del materiale per le sue numerose potenzialità. Un grande contributo lo si deve a progetti come "INATER⁴⁰" che raccoglie le esperienze dei professionisti che trattano i materiali naturali e "CANAPLEA", un progetto orientato all'impiego della miscela di calce e canapulo, che ha condotto alla pubblicazione di "Costruire

con la canapa. *Cantieri, tecniche e filiere in Europa*”, sviluppatosi grazie all’esperienza pratica su “cantieri scuola”.

Le numerose ricerche su questo materiale svolte negli anni da Paolo Ronchetti, hanno portato alla fondazione di Equilibrium® nel 2011, azienda olistica che ha diffuso sul mercato la miscela Natural Beton (di canapa e calce) e il Bio-mattone. Nel 2013 è nata poi Calcecanapa® grazie al lavoro congiunto di tre aziende italiane: Banca della Calce S.r.l (Bologna - BO), IVAS S.p.a (San Mauro Pascoli - FC) e Calce Piasco S.p.a. (Piasco - CN).

Sul territorio nazionale, la prima realizzazione risale al 2011, nel Bolognese, grazie al prezioso contributo dell’architetto ANAB (Associazione Nazionale Architettura Bioecologica) Oliver Zaccanti. Un vero e proprio successo in quanto, dopo anni, i proprietari hanno dichiarato che, sia nel periodo estivo che in quello invernale, l’edificio non richiede l’azionamento dell’impianto di riscaldamento e di raffrescamento. Inoltre, dopo il sisma del 2012 che ha colpito l’area, non ha mostrato alcun segno di cedimento strutturale.



Figura 2.02 - Realizzazione dell’involucro esterno della prima abitazione costruita in canapa e calce

Figura 2.03 - La villa attualmente

Fonte: www.canapaindustriale.it consultato il 08/09/2022

Nel 2010, due importanti progetti di riqualificazione urbana hanno preso vita in Puglia, a Bisceglie, con l’effettiva costruzione nel 2016 delle “Case di Luce” e “Case di Luce nel Verde” la cui realizzazione è iniziata nel 2019. In entrambe le soluzioni sono stati impiegati i blocchi in calce e canapulo e la miscela Natural Beton (conglomerato di calce e canapulo) e vantano consumi quasi zero (edifici N-ZEB).

Casedi Luce, neglianni ha ricevuto due importanti riconoscimenti: il “Premio Ambiente Puglia” nel 2016 e, l’anno successivo il “Cubo di Platino” per il Clima AWARDS.



Figura 2.04 - Edificio “Case di Luce”



Figura 2.05 - Suggestione progettuale di “Case di Luce nel Verde”

Fonte: www.canapaindustriale.it consultato il 08/09/2022

2.2 - I costituenti

Il canapulo

Il canapulo è il nucleo legnoso dello stelo, anche definito “legno di canapa”, e si ottiene a seguito delle operazioni di separazione meccanica⁴¹ della parte fibrosa rispetto a quella legnosa. Una volta conclusa questa fase, il legno di canapa viene tritato in piccole parti e successivamente depolverizzato⁴². A seconda della tipologia d’impiego, la sua granulometria può variare, distinguendo:

- canapulo fine con una lunghezza minore di 10 mm
- canapulo medio con lunghezza compresa tra i 10 e 20 mm
- canapulo grosso con lunghezza variabile tra i 20 e 30 mm.



Figura 2.06 - Raffigurazione delle pezzature del canapulo. Da sinistra 3,5 mm, 10 mm e 22 mm

Fonte: INVERNIZZI R., MELOSINI M., *South hemp tecno - Filiera canapa Sud Italia*, La filiera della canapa e il Cnr, 2017

Terminata la lavorazione, la materia prima, per essere commercializzata, può essere confezionata in sacchi, consegnata sfusa oppure raccolta all’interno delle big bags.

Come dimostrato dagli studi del *Laboratorie Mateis* di Lione, il canapulo ha una struttura interna composta da piccoli tubicini di diametro inferiore a 0,08 mm, disposti parallelamente. Questa sua particolare conformazione lo rende molto poroso (porosità circa del 60%) e leggero (massa volumica di circa 110 kg/m³), in

41. Anche comunemente chiamata fase di strigliatura

42. Rimozione dei residui di fibra e polveri

grado di garantire buone prestazioni termo-acustiche⁴³. Inoltre, i continui processi di condensazione ed evaporazione all'interno dei pori, gli conferiscono un buon comportamento igrometrico.

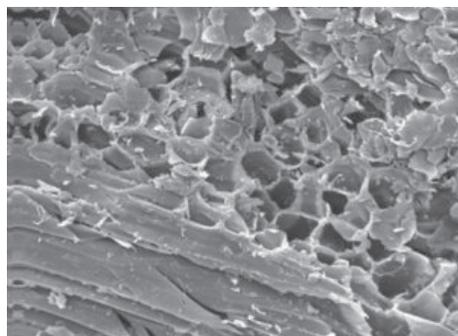


Figura 2.07 - Ingrandimento della struttura interna a tubi del canapulo
Fonte: www.edilcanapasrl.it, consultato il 08/09/2022

Un'altra caratteristica è la sua ricchezza di silice che lo rende ottimale nel connubio con la calce. Dall'unione di questi due materiali, infatti, si innesca un processo di mineralizzazione⁴⁴ che conferisce all'impasto resistenza, durabilità e traspirabilità.

La calce

Una pavimentazione datata al 7000 a.C. rinvenuta nella Galilea meridionale, fa presupporre che il suo "esordio" risalga a moltissimi anni fa. La sua conoscenza si diffuse rapidamente tra Egizi, Greci, arrivando in Italia, a Roma, in epoca romana. Qui, la prima documentazione è datata intorno al 300 a.C. con la costruzione dell'acquedotto romano Appio e la Via Appia⁴⁵. Per millenni è quindi stata protagonista indiscussa dell'arte del costruire, trattata anche nel "*De Architectura*" dell'ingegnere e architetto Marco Vitruvio Pollione.

Con l'introduzione dei combustibili ad elevato potere calorifero (carbone) e il progresso tecnologico, la fabbricazione della calce è stata soppiantata dalla produzione del cemento, rivelandosi il legante da costruzione per eccellenza, che ha mantenuto la scena per gran parte del XX secolo. Negli anni '70 del Novecento, a seguito della crisi petrolifera, l'uso del cemento si è notevolmente ridotto, a causa dell'elevata richiesta di energia per la sua produzione.

Fortunatamente, in questi ultimi anni, l'attenzione verso la sostenibilità ha riportato in primo piano i "materiali naturali" come la calce, per il loro ridotto impatto ambientale in fase di fabbricazione e per la loro abbondanza.

Facendo riferimento alla "calce da costruzione" è opportuno individuare le due grandi suddivisioni: la calce aerea e la calce idraulica.

43. ARNAUD L., SAMRI D., BOYEUX B., *Intérêts écologiques et performances techniques des mortiers de chanvre et chaux pour le bâtiment*, Lyon, Université de Lyon, 2008, p. 3

44. Processo di carbonatazione.
Fonte: www.treccani.it, consultato il 08/09/2022

45. Fonte: www.forumcalce.it, consultato il 09/09/2022

La calce aerea

Questo materiale, viene definito “aereo” perché in grado di indurire con l’assorbimento dell’anidride carbonica presente nell’aria.

Si ottiene con la cottura ad alte temperature (900°C) delle rocce calcaree pure, ad elevato tenore di carbonato di calcio (CaCO_3) e/o carbonato di calcio e magnesio. Durante il processo di calcinazione⁴⁶, la perdita di anidride carbonica del carbonato di calcio porta alla formazione dell’ossido di calcio o “calce viva” (CaO). Quest’ultima, se spenta con acqua in condizioni controllate, rilasciata mediante appositi idratatori, si trasforma in calce idrata in polvere (Ca(OH)_2), molto comune nelle costruzioni. Se in fase di idratazione il quantitativo di acqua eccede quella richiesta, si forma una pasta collosa, tradizionalmente conosciuta come “grassello di calce”, impiegato anche nel restauro di affreschi. La calce spenta (grassello di calce e calce idrata in polvere), con il trascorrere del tempo, è in grado di assorbire la CO_2 presente in ambiente, diventando nuovamente calcare.

46. Processo di riscaldamento di una sostanza solida a temperatura più o meno elevata.

Fonte: www.treccani.it, consultato il 10/09/2022



Figura 2.08 - Sintesi del processo di produzione del grassello di calce e della calce idrata in polvere.

Fonte: Elaborazione personale

La calce idraulica

Prodotto che deriva dalla cottura di rocce calcaree ricche di silice ed è così definita per la sua capacità di presa ed indurimento in presenza di acqua. La calce idraulica viene distinta in:

- Naturale: ottenuta dalla cottura, a temperature tra i 1000°C e 1250°C, di marne calcaree o di miscele di argilla e calcare. Il prodotto, una volta uscito dal forno, viene spento e poi macinato, ottenendo una polvere ad elevato contenuto di

silicati di calcio e idrossido di calcio. Questi ultimi, reagendo con l'acqua, originano idrati responsabili dell'indurimento e della presa. Sul mercato è distinguibile dalla sigla NHL (*Natural Hydraulic Limes*).

- Artificiale: ottenuta dalla macinazione congiunta della calce idrata con altri leganti (pozzolana, cemento, clinker) e con l'aggiunta di additivi areanti in ridotte quantità. L'uso dei leganti permette di accelerare il processo di indurimento. Questa tipologia può essere riconosciuta dalla sigla FL (calce formulata) e HL (*Hydraulic Limes*).

2.3 - La miscela



Figura 2.09 - Schema di rappresentazione dei costituenti della miscela
Fonte: Elaborazione personale

Dall'unione tra il canapulo, il legante (la calce) e l'acqua è possibile ottenere un composto avente differenti proprietà e caratteristiche, più o meno idonee all'utilizzo in campo edilizio e, a seconda del suo impiego e alle prestazioni finali che è necessario raggiungere, varierà il processo di produzione e le proporzioni tra i costituenti, fornendo quindi impasti più o meno consistenti.

L'uso dell'acqua è indispensabile per la lavorabilità della miscela e per l'attivazione delle reazioni chimiche con il legante. Il dosaggio può variare a seconda della densità d'impasto che si vuole ottenere, delle prestazioni richieste, delle condizioni climatiche in cui avviene il getto e in base a quali tecniche costruttive e applicative vengono utilizzate. Parte dell'acqua viene assorbita dai componenti durante la miscelazione iniziale e la restante parte viene invece dispersa nella fase di asciugatura.

Un'incidenza notevole è data dal legante, determinate dal punto di vista del comportamento fisico e chimico del prodotto. Se viene utilizzata la calce idraulica, l'indurimento avverrà in poco tempo, risultando ottimale in condizioni in cui l'asciugatura risulti particolarmente difficile, oppure quando i tempi di essiccazione devono essere ridotti. La resistenza meccanica a impasto indurito, in questo caso è maggiore.

Con l'utilizzo della calce idrata, a differenza della precedente, la carbonatazione e l'essiccazione avvengono in tempi più dilatati, rischiando di ostacolare le successive fasi di cantiere.

A condizionare fortemente le tempistiche di asciugatura è la

natura igrometrica del canapulo, questo infatti non risulterà mai essere completamente asciutto per la sua capacità di assorbimento dell'umidità.

2.3.1 - Le proprietà

Grazie alla sua natura, il calcestruzzo di canapa ha comportamenti differenti rispetto ai tradizionali materiali da costruzione. Le numerose ricerche svolte negli anni, hanno dimostrato le potenzialità del materiale e tra le principali ritroviamo l'isolamento termico, la reazione al fuoco, la durabilità, l'isolamento acustico, la salubrità e l'impatto ambientale.

Isolamento termico

Le prestazioni termiche della miscela sono fortemente influenzate dai dosaggi dei costituenti, dal tipo di legante che viene utilizzato e dalla densità dell'impasto.

Alcuni test dimostrano infatti un aumento lineare della conducibilità termica con l'incremento della densità. A dimostrazione, lo studio di F. Collet & S. Pretot⁴⁷ che ha riportato alcuni di questi valori per differenti densità (ρ): se si considerano miscele a bassa densità, quindi comprese tra 220 e 275 kg/m³, la conducibilità termica (λ) è variabile da 0,05 a 0,06 W/mK. Per miscele con densità tra 450-550 kg/m³, λ è compresa tra 0,11 e 0,16 W/mK.

In un ulteriore studio su otto differenti calcestruzzi di canapa, fatto da L. Arnaud & V. Cerezo⁴⁸, sono stati rilevati dei valori di λ compresi tra 0,07 e 0,11 W/mK. I risultati ottenuti da queste prove, sono molto vicini a quelli riportati in letteratura⁴⁹: tra 0,06 e 0,18 W/mK.

Parlando invece di trasmittanza termica⁵⁰ (U), i test condotti da BRE ad Haverhill, hanno riportato dei valori di U maggiori negli edifici realizzati in conglomerato di canapa e calce (spessore della muratura pari a 20 cm), se comparati con la trasmittanza termica di edifici in materiali tradizionali⁵¹. Analizzando però, in entrambe i casi, la temperatura media degli ambienti interni, si può comprendere il perché questo parametro non sia l'unico da prendere in considerazione per lo studio delle prestazioni termiche. Infatti, la temperatura interna degli edifici avente muratura in mattoni, è di 2°C inferiore rispetto a quella dei fabbricati in calce e canapa, a parità di apporto di calore⁵². Inoltre, a seguito di un'ispezione termografica, la temperatura esterna della parete in *hempcrete* è minore di 5°C rispetto a quella degli edifici tradizionalmente costruiti⁵³.

E' evidente che la trasmittanza termica sia fortemente influenzata dalle dimensioni della parete, infatti più questa

47. COLLET F., PRETOT S., *Thermal conductivity of hemp concretes: variation with formulation density and water content*, Construction and Building Materials, vol. 65, 2014, pp. 612-619

48. ARNAUD L., CEREZO V., *Qualification physique des matériaux de construction à base de chanvre*, École National des Travaux Publics de l'État, Département Genie Civil et Batiment (in French), 2004

49. BENFRATELLO S., CAPITANO C., PERI G., RIZZO G., SCACCIAOCE G., SORRENTINO G., *Thermal and structural properties of a hemp-lime biocomposite*, Construction Building Materials, vol. 48, 2013, pp. 745-754

50. Il flusso di calore che attraversa una superficie unitaria sottoposta a differenza di temperatura pari a 1°C. L'unità di misura è il W/m²K.

51. BRE - BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT LTD, *Final Report on the Construction of the Hemp Houses at Haverhill, Suffolk*, 2002

52. WOOLLEY T., *Natural Building: A Guide to materials and Techniques*, The Crowood Press Ltd, Ramsbury, 2006

53. RONCHETTI P., *Il cemento di canapa e calce: un promettente materiale e metodo di costruzione per l'edilizia sostenibile*, 2007, p.6

sarà spessa, migliore sarà il suo valore. Ciò è dimostrato dai dati riportati dall'azienda⁵⁴ Calcecanapa® S.r.l: per lo spessore del getto di 20 cm si ha una U di 0,272 W/m²K, mentre per uno spessore di 35 cm è pari a 0,158 W/m²K.

La continuità del getto, se opportunamente utilizzato e realizzato, fa sì che sia in grado di evitare la formazione dei ponti termici in corrispondenza dei giunti (ad esempio tra solaio e parete o tra parete e copertura), contribuendo alla riduzione dei costi relativi al condizionamento dell'edificio e all'attenuazione delle emissioni in ambiente.

Inerzia termica

Per inerzia termica si intende *“La capacità di un materiale, oppure di una struttura, di variare più o meno lentamente la propria temperatura, in reazione alle variazioni di temperatura esterna, oppure di una sorgente di calore o di raffreddamento interno”*⁵⁵.

I numerosi test che si sono svolti ad Haverhill hanno affermato la buona inerzia termica del materiale, infatti, la miscela è in grado di contenere l'impatto delle oscillazioni della temperatura esterna, evitando che nei periodi più caldi vi sia un surriscaldamento dell'ambiente⁵⁶. Più semplicemente, considerando una facciata esposta al sole, questa si scalderà molto lentamente limitando il passaggio del calore dall'esterno all'interno. Se la temperatura esterna subisce una riduzione significativa, allora il materiale sarà in grado di bilanciare la differenza di temperatura, attenuando gli sbalzi termici.

Adeguati livelli di inerzia termica favoriscono lo sfasamento temporale dell'onda di calore e di conseguenza il suo smorzamento.

Reazione al fuoco

Uno dei requisiti chiave per garantire la sicurezza degli edifici è senza alcun dubbio la resistenza al fuoco.

Grazie agli studi e ai numerosi test, il materiale viene dichiarato come *“Resistente alla fiamma senza rilascio di fumi tossici o D-infiammabili, soddisfacendo la categoria A secondo la norma EN 13501-1”*⁵⁷, grazie al processo di mineralizzazione che il canapulo subisce una volta in contatto con la calce, non rendendo quindi necessari ulteriori trattamenti antifiamma.

In Francia, nel *Centre Scientifique et Technique du Batiment*, è stata effettuata una prova di resistenza al fuoco su blocchi in calce e canapulo posati con malta di calce. Il materiale ha resistito per 1 h e 40 minuti, senza rilasciare sostanze tossiche in

54. Dati disponibili sulla scheda tecnica Calcecanapa® Getto.

55. Fonte: www.treccani.it, consultato il 13/09/2022

56. BRE - BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT LDT, *Final Report on the Construction of the Hemp Houses at Haverhill, Suffolk, 2002*

57. Fonte: www.archetica.com, consultato il 14/09/2022

58. BEAVAN R., WOOLLEY T., *Hemp Lime Construction- A guide to building with hemp lime composites*, Bracknell, HIS Bre Press, 2008, p. 75.

59. CONSTRUIRE EN CHANVRE, *Justification de la conformité d'une façade à ossature bois remplie de béton de chanvre projeté ou banché et recouvert côté extérieur d'un enduit chaux/sable*, Appréciation de laboratoire n° 02609, Parigi, 2021

ambiente. I blocchi, a differenza dei giunti, non hanno mostrato alcun segno di cedimento⁵⁸. Con ciò, si può presupporre che, se la costruzione fosse stata realizzata interamente con la miscela di canapa e calce, non si sarebbero verificati segni di instabilità. Da questo punto di vista, un grande contributo è dato dalla sua capacità di tenuta all'aria.

Sempre in Francia, con l'intenzione di ridefinire nuove regole sugli edifici realizzati con questo materiale, nel 2020, è stata condotta una prova su un prototipo di dimensioni reali, con una parete di spessore pari a 30 cm e telaio in legno inglobato nella muratura. Dopo aver sottoposto l'edificio ad un violento incendio per un'ora, si sono effettuate una serie di valutazioni che hanno dimostrato che, nonostante le alte temperature raggiunte, il muro si è rivelato resistente anche in corrispondenza del nodo pavimento-parete⁵⁹.

Essendo il materiale in grado di ritardare la progressione del calore, ritarda anche l'inizio della degradazione della struttura portante lignea.

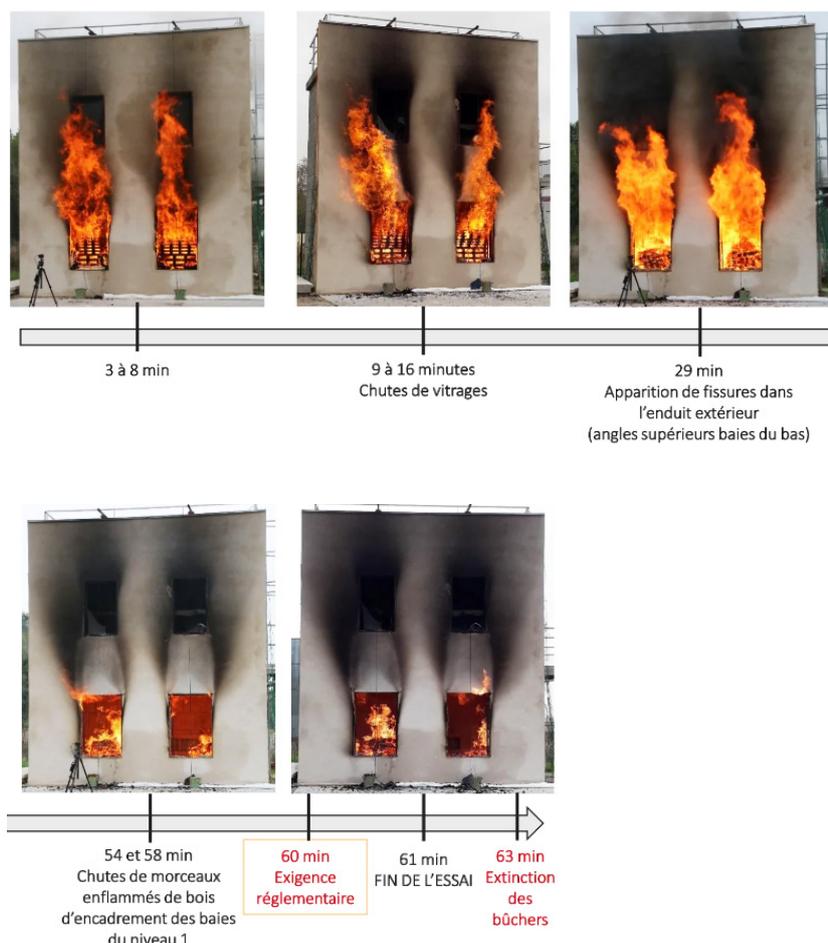


Figura 2.10 - Evoluzione della prova al fuoco di una sala sperimentale in cemento di canapa.

Fonte: www.batiweb.com, consultato il 14/09/2022

Durabilità

Dopo un susseguirsi di considerazioni in merito alla durabilità del conglomerato in calce e canapa si è giunti alla conclusione che la mineralizzazione del canapulo garantisce la longevità del materiale.

La calce, essendo un biocida naturale, è in grado di proteggere dall'azione di agenti patogeni biologici; inoltre, la sua l'alcalinità (PH > 12) respinge i potenziali attacchi da parte dei parassiti. Infatti, per questa sua potenzialità, un tempo veniva utilizzata come igienizzante naturale e per la protezione, ad esempio, del legno.

Fino ad oggi non si sono mai verificati casi di infestazione da parassiti nelle costruzioni realizzate con questo materiale naturale.

Isolamento acustico

Adeguati livelli di isolamento acustico sono fondamentali e molto spesso, nel settore delle costruzioni, l'uso di materiali tradizionali fa sì che sia necessaria l'aggiunta di ulteriori strati isolanti per il raggiungimento delle prestazioni acustiche richieste.

Negli edifici in canapa e calce ciò non accade: la struttura porosa del canapulo lo rende un buon isolante acustico, il cui potere fonoassorbente è piuttosto elevato, intorno allo 0,8, cioè in grado di assorbire l'80% dell'energia acustica. La capacità di fonoassorbimento può variare a seconda del legante che viene utilizzato: è maggiore se nell'impasto vi è un legante a base di calce idrata, e minore se a base di calce idraulica. Questo si può tradurre in una relazione inversa tra assorbimento acustico e quantitativo di acqua. Determinante è anche la scelta delle finiture in quanto possono ridurre la porosità della parete e di conseguenza il potere fonoassorbente⁶⁰.

Per quanto riguarda il fonoisolamento, a seguito di alcune stime fatte negli anni sulla miscela *Tradical Hemcrete* su pareti di spessore compreso tra i 30 cm e i 40 cm, il potere fonoisolante⁶¹ è pari a 57 dB. Questo valore soddisfa ampiamente il limite normativo italiano (50 dB).

Ulteriori test acustici si sono svolti durante il progetto di Haverhill nel 2002, riscontrando che in questo caso, le pareti realizzate con materiali tradizionali (mattoni), hanno performance acustiche migliori (64 dB) rispetto alle pareti in calce e canapulo (57 dB per un getto di 20 cm)⁶².

60. KINNANE O., REILLY A., GRIMES J., PAVIA S., WALKER R., *Acoustic absorption of hemp-lime construction*, Construction and Building Materials, vol. 122, 2016, pp. 674-682

61. BEAVAN R., WOOLLEY T., *Hemp Lime Construction- A guide to building with hemp lime composites*, Bracknell, HIS Bre Press, 2008, p. 89

62. BRE - BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT LDT, *Thermographic Inspection of the Masonry and Hemp Houses at Haverhill*, Suffolk, 2003 p.32.

Salubrità

Un importante requisito per garantire il comfort degli occupanti è la qualità dell'aria interna. Essa è fortemente compromessa dalla presenza di vapore acqueo rilasciato dalle fonti di umidità (occupanti ecc). L'accumulo di questa nelle pareti può comportare la riduzione delle prestazioni termiche dell'edificio e allo stesso tempo al deterioramento del materiale. Perciò far ricadere la scelta in materiali traspiranti e in grado di assorbire l'umidità, può essere un metodo efficace per rendere l'ambiente interno più salubre, ridurre le variazioni giornaliere di umidità e preservare la struttura nel tempo.

Grazie all'igroscopicità del canapulo e la permeabilità al vapore della calce, le strutture realizzate in canapa e calce sono in grado di "respirare" assorbendo l'umidità in eccesso e rilasciandola mediante evaporazione.

Impatto ambientale

63. IP K., MILLER A., *Life cycle greenhouse gas emissions of hemp-lime wall constructions in the UK*, Resources, Conservation and Recycling, Vol. 69, 2012, pp. 1-9

Nel 2011, lo studio di Kenneth Ip e Andrew Miller⁶³, ha effettuato un'analisi LCA su una parete verticale in canapulo e calce di 1 m², con spessore pari a 30 cm e densità di 275 kg/m³, priva di finiture superficiali sia in interno che in esterno. La miscela si compone di 30 kg di canapulo, 50 kg di legante a base di calce, 75 kg di acqua, e per garantire il supporto del getto viene utilizzato del legname segato ed essiccato al 10%.

Quest'analisi considera la coltivazione della canapa, i processi di lavorazione e le fasi di costruzione della parete.

Grazie all'ausilio del software SIMAPro, sono stati determinati i dati relativi alle emissioni totali di gas serra in ambiente pari a 46,63 kg di CO₂ equivalente⁶⁴. Tenendo però conto della quantità di GHG sequestrati dai singoli costituenti: 45,82 kg CO₂e derivano dal canapulo, 8,34 kg CO₂e dal legname e 28,55 kg CO₂e dal legante, ottenendo quindi un bilancio totale pari a - 36,08 kg CO₂e stoccati. Questo valore negativo indica che la realizzazione della parete con la miscela in calce e canapulo ha un impatto positivo sul cambiamento climatico, grazie alla buona capacità di assorbimento dei gas inquinanti. In quest'analisi, il maggior contributo in termini di rilasci di GHG deriva dal legante.

64. Le CO₂ equivalenti (CO₂e) sono un'unità di misura necessaria per esprimere in modo uniforme l'impatto sul clima dei diversi gas serra.

Più recentemente, nel 2018, un'analisi LCA è stata condotta su un muro in blocchi di calce e canapulo prodotti da un'azienda italiana⁶⁵. L'unità funzionale, anche in questo caso è 1 m² di parete, priva di finiture superficiali, con spessore pari a 25 cm e trasmittanza termica di 0,27 W/m²K. Come nel precedente caso studio, anche qui sono coinvolte tutte le fasi del processo di produzione, partendo dalla coltivazione ed estrazione delle materie prime, arrivando alla realizzazione del muro e la

65. PERLETTI M. A., *Costruire sostenibile con la canapa. Guida all'uso in edilizia di un materiale naturale e innovativo*, Santarcangelo di Romagna, Maggioli Editore, 2020, pp. 140-144

successiva carbonatazione del legante.

Considerando l'energia incorporata, il maggior contributo è dato dalle fonti rinnovabili, per l'elevata percentuale di canapulo presente nel blocco. Inoltre, a seguire, un peso notevole è relativo alle fonti fossili per l'elevata quantità di energia richiesta nella fase di cottura della calce (calcinazione).

Per quanto riguarda la capacità del materiale di assorbire i gas ad effetto serra, il legante inizia ad immagazzinare con l'avvio del processo di carbonatazione, quando la miscela entra in contatto con l'aria esterna. Sono state effettuate delle valutazioni dopo 240 giorni dalla produzione e posizionamento del blocco e il bilancio risulta sensibilmente negativo, pari a -11,24 kg di CO₂e, assorbendo più di quanto sia stato effettivamente emesso in fase di produzione. Se si fosse già interamente compiuto il processo di carbonatazione, la quantità di CO₂ immagazzinata sarebbe ancora maggiore, pari a 14,45 kg CO₂e, con un bilancio complessivo di -25 kg CO₂e.

Questo sistema “*carbon negative*” è capace di assorbire e trattenere per un tempo prolungato i gas inquinanti.

2.4 - Campi di applicazione

Il prodotto può sostituire l'uso del calcestruzzo e altri materiali tradizionali, sia nella nuova costruzione che nella riqualificazione. Può essere utilizzato per una vasta gamma di applicazioni, sia in ambito industriale, commerciale e domestico, in particolare per la realizzazione di murature, riempimenti, massetti, intonaci e cappotti.

Riempimento

Vede impiego per l'isolamento di superfici orizzontali, verticali ed inclinate mediante il riempimento continuo di un'intercapedine, eliminando così la possibilità formazione di ponti termici.

Dovendo garantire un buon livello di isolamento e non essendo richiesta resistenza meccanica, la miscela risulta avere un maggior leggerezza rispetto a quella impiegata nella realizzazione di murature. Anche in questo caso la posa può essere effettuata manualmente o a spruzzo all'interno di telai lignei o metallici, e a chiusura del sistema vengono solitamente utilizzate lastre o pannelli rigidi (ad esempio cartongesso). Gli spessori saranno variabili a seconda delle prestazioni richieste.



Figura 2.11 - Riempimento di un'intercapedine in calce e canapa

Fonte: www.bancadellacalce.it, consultato il 23/09/2022

Muratura

66. HEMP LIME CONSTRUCTION PRODUCTS ASSOCIATION (HLCPA), *Hemp and lime*, 2006

La ridotta resistenza a compressione del prodotto⁶⁶, pari a 0,1 - 0,2 N/mm, fa sì che venga applicato in condizioni in cui il carico sia limitato. Per questo motivo viene associato ad un telaio, solitamente in legno (anche in metallo o cemento), in grado di sostenere e trasmettere i carichi strutturali.

La fase di messa in opera può essere svolta in due modalità differenti:

- mediante un getto manuale in apposite casseforme e successiva compattazione
- con l'ausilio di appositi mezzi meccanici in grado di "spruzzare" il materiale sul supporto. Questa modalità viene definita "a spruzzo".

67. WOOLLEY T., *Natural Building: A Guide to materials and Techniques*, The Crowood Press Ltd, Ramsbury, 2006

La muratura, a seconda delle prestazioni richieste, può avere spessori variabili tra i 20 cm e i 40 cm e non necessita di barriera al vapore, pannelli isolanti e ulteriori elementi⁶⁷. Terminato il getto, è necessario un periodo di asciugatura variabile a seconda delle condizioni meteo. La parete può essere completata posando uno strato di finitura superficiale interno ed esterno, quest'ultimo a protezione dalle intemperie.

Negli anni i numerosi studi e le prove che si sono svolte per incrementare la resistenza meccanica, hanno riportato la necessità di ridurre il quantitativo di canapulo e l'aggiunta di leganti cementizi. Da ciò ne consegue un aumento della resistenza meccanica, ma una riduzione significativa delle proprietà acustiche e termiche.

La combinazione tra il conglomerato e il telaio portante, si rivela una soluzione versatile che consente al progettista di dare spazio al design creativo ed innovativo. È possibile realizzare forme organiche e pareti curve, senza limiti di forma.



Figura 2.12 - Muratura in calce e canapa

Fonte: www.messapiastyle.it, consultato il 23/09/2022

Massetto

Molto comune è anche la realizzazione di massetti isolanti, sia calpestabili che non. La miscela, anche in questo caso, non ha alcuna funzione strutturale poichè già garantita dalla struttura portante.

All'interno del massetto, vengono annegati gli impianti, sia elettrici che idrici, già accuratamente predisposti prima del getto. Trattandosi di un massetto calpestabile, è possibile predisporre il riscaldamento a pavimento su uno strato aggiuntivo in sabbia e calce. Su di esso può essere posato qualsiasi tipologia di pavimento, sia in legno che in piastrelle, ed essendo un materiale ad elevata capacità igrometrica, non è richiesta la posa del freno a vapore.

Una differenza sostanziale tra il massetto calpestabile e quello non, è la densità. Infatti, avendo il secondo solamente funzione isolante, nella preparazione dell'impasto la quantità di calce sarà inferiore, conferendo quindi una minore densità. L'azienda Edilcanapa® S.r.l.⁶⁸, ad esempio, fornisce indicazioni specifiche in funzione dell'uso: per un massetto non calpestabile la densità parte da 200 kg/m³, per massetto calpestabile ma non carrabile da 330 kg/m³ e per massetto calpestabile e carrabile da 385 kg/m³.

68. Scheda tecnica Edilcanapa CA-NAPAMAS



Figura 2.13 - Massetto in calce e canapa

Fonte: www.bancadellacalce.it, consultato il 24/09/2022

Intonaco e finiture

L'intonaco in canapa e calce può essere impiegato su differenti tipologie di supporto, sia in interno che in esterno. Il suo spessore può anche arrivare a 10 - 15 cm, e creando superfici traspiranti, è in grado di contribuire all'isolamento dell'involucro esterno.

Per una maggiore protezione delle pareti esterne, è possibile poi applicare l'intonaco di finitura tradizionale oppure, per una maggiore compatibilità, una finitura naturale. Sulle pareti interne, se si vuole ottenere una superficie più grezza, è possibile lasciare a vista l'intonaco.

Nello strato di finitura, è preferibile utilizzare un canapulo molto fine che conferisca alla parete un miglior aspetto, variabile anche a seconda della modalità di stesura.

La preparazione di queste miscele avviene in cantiere, grazie all'ausilio di appositi mezzi meccanici, viene steso per strati e per ognuno è necessario un periodo di asciugatura.



Figura 2.14 - Intonaco in calce e canapa

Fonte: www.edicanapasrl.it, consultato il 26/09/2022

Cappotto isolante

Il cappotto isolante si rivela un'ottima soluzione per interventi di efficientamento energetico migliorando, all'interno degli ambienti, il comfort termico. Anche in questo caso è possibile applicarlo su qualsiasi supporto, sia in interno che in esterno e, grazie alla sua continuità, evita la formazione di ponti termici e dispersioni.

La superficie esterna viene poi rifinita con intonaci di finitura al fine di garantire una migliore protezione dagli agenti atmosferici.

Questo argomento verrà approfondito nei Capitoli 4 e 5, il quale verrà messo a confronto con il cappotto in fibra di canapa.



Figura 2.15 - Cappotto in calce e canapa

Fonte: www.edicanapasrl.it, consultato il 26/09/2022



CAPITOLO 03

PANNELLI IN FIBRA
DI CANAPA

L'uso dei pannelli in fibra di canapa nel settore edilizio, in Italia, risale al 1976 quando, la Legge n. 373/76 ha promosso l'utilizzo di questi prodotti per l'efficientamento energetico degli edifici. Inizialmente, non ha riscosso particolare interesse in questo ambito, ma negli ultimi anni, per far fronte alle problematiche ambientali ed energetiche, il suo uso si è rivelato una tra le soluzioni ottimali in materia di risparmio energetico e sostenibilità.

Le fibre di canapa, come altre fibre naturali, per le loro buone proprietà meccaniche, la loro compatibilità ambientale, il basso consumo energetico e la loro riciclabilità, sono considerate buone sostitute delle tradizionali fibre sintetiche e idonee al rinforzo dei materiali compositi. Per questo vedono impiego in differenti campi oltre a quello edilizio, come nel settore automobilistico e nel settore aerospaziale.

3.1 - I costituenti

La fibra di canapa

Le fibre costituiscono la parte fibrosa dello stelo, anche comunemente chiamata "tiglio" e rappresentano una percentuale variabile compresa tra il 25% e il 30% del fusto di canapa; questa differenza di resa della percentuale è in relazione alle varietà prese in considerazione, alle condizioni climatiche della coltivazione e al metodo di macerazione.

Le fibre primarie e secondarie⁶⁹ si trovano all'interno del floema (20 mm - 50 mm) a supporto delle cellule conduttive, nello strato sottostante al tessuto corticale; circondano il cambio centrale e lo xilema e sono raggruppate in fasci, disposti parallelamente all'asse longitudinale del fusto.

La parete cellulare della fibra è multistrato e il cuore è rappresentato da lume. Si compone inoltre di una parete primaria, formatasi durante la prima fase di sviluppo cellulare, e di una parete secondaria, che a sua volta include tre strati. Infine, la parte più esterna, la lamella mediana, favorisce l'incollaggio e la legatura tra le fibre elementari, grazie all'elevato tenore di lignina al suo interno.

69. Fibre che derivano dal cambio

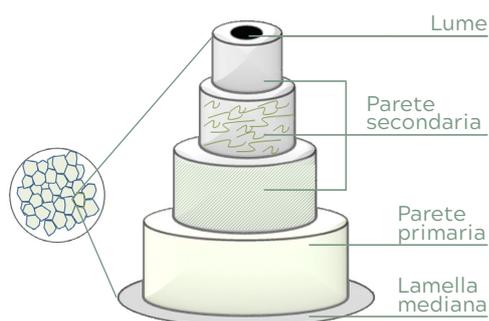


Figura 3.01 - Struttura interna della fibra elementare di canapa.

Fonte: Elaborazione personale

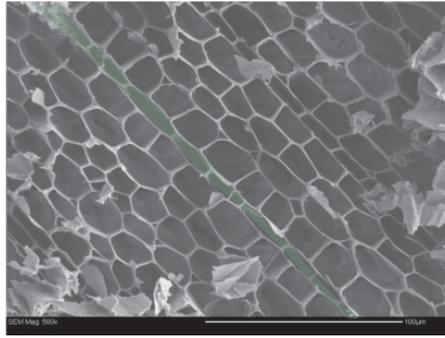


Figura 3.02 - “Sezione di uno stelo di canapa che mostra la forma periciclica di singole fibre unite tra loro attraverso la loro lamella mediana”
 Fonte: THAMAE T., AGHEDO S., BAILLIE A. C., MATOVIC D., *Tensile properties of hemp and Agave americana fibres*, Handbook of Tensile Properties of Textile and Technical Fibers, 2009, pp. 73-99

70. MAZEDUL M., HAO WANG K., TAK LAU A. K., CARDONA F., ARAVINTHAN T., *Mechanical properties of chemically-treated hemp fibre reinforced sandwich composites*, Composites Part B: Engineering, Vol. 43, pp. 159-169

Analizzando nello specifico la sua composizione, è costituita approssimativamente dal 3,7-5,7% di lignina, dallo 0,9% di pectina, dal 70,2-74,4% di cellulosa, dal 17,9-22,4% di emicellulosa e dallo 0,8% di sostanza cerose. La cellulosa rappresenta la componente strutturale mentre la lignina e l’emicellulosa sono responsabili delle sue proprietà⁷⁰. Questa sua composizione conferisce leggerezza, resistenza e flessibilità.

Per ricavare la fibra una volta conclusa la fase di raccolta, dopo un periodo di macerazione in campo o in stabilimento, nell’impianto di prima lavorazione vengono verificati alcuni parametri tra cui l’umidità, il punto di macerazione, la qualità e la purezza. Il prodotto viene poi separato nei suoi costituenti mediante il processo di strigliatura, durante il quale la fibra viene sperata dal canapulo. Le fibre grezze, dopo la rimozione delle impurità vengono pettinate e questo step, può essere ripetuto più volte a seconda dell’uso della materia prima. Infine, vengono poi confezionate in balle per essere trasportate negli appositi stabilimenti di produzione dei derivati.



Figura 3.03 - Cronologia delle fasi di prima lavorazione
 Fonte: Elaborazione personale

Il legante

Un altro componente chiave di questo materiale bio-composito è il legante: la sua presenza ne favorisce il miglioramento delle prestazioni, garantendo la coesione e la legatura delle fibre, grazie al processo di termofissaggio.

In fase di produzione, è determinante la scelta del legante da utilizzare perché in grado di influire sulla biodegradabilità e sulla sostenibilità del prodotto. L'uso infatti di leganti sintetici, come le fibre di poliestere, fa sì che queste non si degradino e, di conseguenza i prodotti debbano essere smaltiti in discariche o bruciati in appositi stabilimenti (inceneritori). Tra i leganti che vengono maggiormente impiegati per la produzione di questi pannelli, a seguito di una breve analisi di quelli attualmente in commercio, troviamo: quelli di origine naturale come l'amido di mais (PLA), oppure quelli sintetici come il PES (polietersolfoni) e il PL (poliestere).

Amido di mais (PLA)

L'amido è un biopolimero prodotto grazie al processo di fotosintesi di risorse vegetali come i semi di frumento, il mais, i tuberi (patate) e le radici di tapioca. Si presenta come una polvere bianca, costituita da piccoli granuli insolubili in acqua fredda, con forma e dimensioni variabili (tra 2 e 100 micron) a seconda della pianta di origine e delle condizioni di crescita⁷¹. L'amido è un polisaccaride formato da altri due polisaccaridi⁷²: l'amilosio, responsabile della gelatinizzazione (caratterizzato da struttura lineare) e l'amilopectina (con struttura complessa e ramificata) in percentuale compresa tra il 70% e 85%.

Dall'amido di mais ne deriva l'acido polilattico, identificato con la sigla PLA, un poliestere biodegradabile utilizzato come legante nel processo di produzione dei pannelli in fibra di canapa, perché in grado di migliorarne significativamente le prestazioni, rendendoli utilizzabili anche per applicazioni industriali. In realtà non è un polimero recente, in quanto si hanno sue notizie già a partire dal 1932.

Negli anni, l'attenzione alla sostenibilità ha aperto la strada a questa tipologia di legante grazie alla sua compostabilità, disponibilità, il basso costo e la sua rinnovabilità, andando incontro alle attuali esigenze di mercato e restando a capo dei polimeri derivanti da fonti rinnovabili.

Polietersolfoni

I polietersolfoni (PES), insieme al polisolfoni (PSU) e polifenilsolfoni (PPSU) appartengono alla famiglia delle termoplastiche amorfe, in grado di resistere ad alte temperature

71. BUMANIS G., VITOLA L., PUNDIENE I., SINKA M., BAJARE D., *Gypsum, Geopolymers, and Starch-Alternative Binders for Bio-Based Building Materials: A Review and Life-Cycle Assessment*, Department of Building Materials and Products, Riga Technical University, 2020

72. CASAMENTO, F., *Studio di blend polimerici a base PLA: effetto di compatibilizzanti naturali*, Tesi di Laurea, Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria dei Materiali, 2019. Relatore: Rossella Arrigo

(200°C). Il loro nome deriva dalla presenza, al loro interno, di gruppi solfonici (SO₂).

I PES hanno ottime proprietà meccaniche anche ad elevate temperature (200°C), un modulo elastico elevato e l'aggiunta, anche in piccola percentuale, all'interno del pannello in fibra di canapa, lo rende meccanicamente più prestante.

Poliestere

Il poliestere, identificato anche con la sigla PL, appartiene alla famiglia delle fibre sintetiche, ed è un polimero derivante da materiali di riciclo e di scarico. Essendo resistente ed elastico, fa sì che venga miscelato con altre fibre naturali per aumentarne la robustezza.

Gli Inibitori di fiamma

Nel processo di produzione del pannello in fibra di canapa, per aumentare la resistenza al fuoco del prodotto finale, in alcuni casi vengono aggiunte alcune sostanze chimiche, inibitrici di fiamma, in grado di ritardare o impedire l'accensione del materiale. Tra queste ritroviamo i sali di boro e i sali di ammonio.

Sali di boro

Il boro appartiene alla famiglia dei semimetalli e si trova all'interno del borace, un minerale presente in natura già utilizzato in passato per estinguere gli incendi. Vede applicazione dall'intrattenimento per gli spettacoli pirotecnici, al settore medico.

In ambito edilizio, l'aggiunta all'interno dei pannelli in fibra, anche se in ridotte quantità, fa sì che, quando il pannello viene riscaldato, si inneschino una serie di reazioni chimiche che producono una barriera protettiva antincendio sul materiale, preservandolo. L'utilizzo di questi sali, anche se in piccola percentuale (<1%), rende il materiale poco ecologico, eliminandone la possibilità di compostaggio.

Di fronte a questo aspetto, molte aziende hanno deciso di adottare delle soluzioni più sane ed ecocompatibili per sopperire a questa sua criticità. L'azienda Edilcanapa® S.r.l, ad esempio, propone la stesura sul pannello in fibra una volta posato, di 1 cm di intonaco premiscelato naturale e una finitura superficiale costituita da un intonachino rasante. In tal modo, dopo una serie di prove di laboratorio esterne all'azienda, il sistema viene certificato come completamente ignifugo, portandolo ad una Classe di Reazione al Fuoco⁷³ Bs1d0.

⁷³. Alessandrini, Maria Elena, Sales Manager dell'azienda Edilcanapa® S.r.l.

Sali di ammonio

I sali di ammonio sono dei ritardanti di fiamma azotati e, quelli comunemente utilizzati per questo scopo sono il solfato o fosfato di ammonio.

Il loro uso fa sì che si crei sulla superficie esposta uno strato carbonioso, in grado di ritardare così il propagarsi del calore nelle parti più interne. Questo è stato dimostrato dallo studio descritto nel punto relativo alla resistenza al fuoco.

3.2 - I pannelli

Al fine di ottenere i pannelli in fibra di canapa, dopo aver terminato la fase di prima lavorazione della materia prima, le rotoballe giungono negli stabilimenti per i successivi steps. Qui la dimensione delle fibre viene ridotta e successivamente vengono essiccate in condizioni di temperatura e umidità controllate. In questo modo, il liquido in eccesso viene rimosso e si è a conoscenza dell'esatta percentuale di acqua presente nel materiale (quantità stechiometrica). Terminata questa fase, i costituenti quali, la fibra (90%), il legante (10%) ed eventuali additivi (quantità minime), vengono inseriti nel miscelatore dando origine al materiale composito.

La miscela viene formata e poi pressata. Il processo di pressatura, conosciuto come "termofissaggio", avviene a caldo, favorendone la polimerizzazione, ed è fondamentale per definire la specifica densità del pannello.

In uscita, il materiale affinché possa essere idoneo alla commercializzazione, viene ancora rifinito mediante la rimozione delle parti in eccesso e, sovrapponendoli l'un l'altro su pedane in legno, sono pronti per essere agevolmente trasportati nei cantieri edili per la posa finale.



Figura 3.04 - Processo di produzione dei pannelli
Fonte: Elaborazione personale

I pannelli in fibra di canapa presenti sul mercato hanno forma parallelepipedica, tipica dei materiali isolanti, sono semi-rigidi o morbidi e la densità può variare dai 30 kg/m³ ai 100 kg/m³.

Sono disponibili in molteplici formati (800 x 625 mm, 1.200 x 400 mm, 1.200 x 600 mm, 1.100 x 600 mm), con differenti finiture e con spessori variabili tra i 20 mm e i 240 mm, a seconda delle aziende produttrici, degli usi e delle prestazioni richieste.

Per la loro somiglianza possono verosimilmente rimandare ai pannelli in fibra minerale come quelli in lana di roccia o di vetro.

3.2.1 - Le proprietà

Analizzando questo prodotto dal punto di vista prestazionale, è un materiale salubre, durevole, con buone proprietà di fono-assorbimento, di isolamento termico, di traspirabilità e regolazione di umidità.

Isolamento termico

Alcuni test sulle prestazioni energetiche delle pareti in laterizio isolate con fibra di canapa, fatte dal Centro Ricerche Enea di Brindisi nel progetto *Effedil*⁷⁴, hanno dimostrato un miglioramento delle condizioni termiche dell'edificio, nel quale si è verificata un'attenuazione del flusso termico (calore che in un dato momento attraversa un materiale) del 30%, e una diminuzione della trasmittanza termica del 20%.

Per quanto riguarda la conducibilità termica, secondo un'indagine riferita ai prodotti presenti sul mercato, questa può variare da 0,038 W/mK a 0,042 W/mK, circa. La variabilità di questo parametro è determinata dalla differenza di densità del pannello, infatti, come dimostrato dalle schede tecniche di Edilcanapa® S.r.l, per un pannello con densità di 35 kg/m³ il valore di conducibilità termica⁷⁵ è pari a 0,041 W/mK, mentre per un pannello con ρ pari a 100 kg/m³ questa corrisponde⁷⁶ a 0,038 W/mK.

Inoltre, ad influenzare questo parametro è anche la tipologia di legante utilizzato, la varietà della fibra e se la materia prima è stata sottoposta a dei trattamenti chimici in fase di produzione.

Parlando invece di trasmittanza termica (U), l'azienda Calcecanapa® S.r.l, ha fornito dei valori di una parete esistente in mattoni forati, avente uno spessore di 30 cm, sulla quale vengono incollati i pannelli in fibra di canapa⁷⁷ Pan100 ($\lambda = 0,039$ W/mK), con spessori variabili da 8 cm a 20 cm, sui quali sono presenti 2 cm di finitura superficiale. È evidente che, utilizzando un pannello di minimo spessore, la trasmittanza termica dell'intera parete è pari a 0,325 W/m²K. Invece, nel caso in cui venga applicato il pannello di maggiore spessore, la trasmittanza

74. Fonte: www.focus.it, consultato il 06/10/2022

75. Scheda tecnica CANAPANNELE 35, Edilcanapa® S.r.l.

76. Scheda tecnica CANAPANNELE 100, Edilcanapa® S.r.l.

77. Scheda tecnica PAN100, Calcecanapa® S.r.l.

termica diminuisce drasticamente fino a $0,165 \text{ W/m}^2\text{K}$. Con ciò si può quindi confermare che, a parità di densità, maggiore sarà lo spessore del pannello, minore sarà il flusso di calore che attraversa la parete.

Resistenza al fuoco

Di per sé i materiali cellulósici non soddisfano i requisiti di resistenza al fuoco, infatti, secondo la normativa UNI EN 13501-1 (“*Classificazione al fuoco dei prodotti e degli elementi da costruzione*”) sono inseriti nella Classe di Reazione al Fuoco E. Perciò, al fine di garantire la sicurezza degli edifici, molto spesso vengono trattati con materiali inibitori di fiamma o vengono utilizzate delle soluzioni alternative come quella adottata dall’Edilcanapa® S.r.l.

Tra i trattamenti più comuni ritroviamo l’aggiunta dei sali di boro e dei sali di ammonio.

A testimonianza una prova sperimentale⁷⁸ su un provino in fibra di canapa legata con amido di mais. L’aggiunta del fosfato di ammonio all’interno dei pannelli è in grado di proteggere questi materiali da un flusso di calore pari a 35 kW/m^2 (scenario utilizzato nello studio) mediante la formazione di uno strato carbonioso sulla loro superficie che contribuisce a rallentare il trasferimento di calore e ne evita la degradazione termica. Dopo la prova, la struttura delle fibre che hanno subito il trattamento è rimasta intatta, mentre quelle non trattate si sono completamente trasformate in polvere.

La variazione del contenuto di questo sale, porta quindi ad una variazione delle proprietà finali: maggiore sarà la sua concentrazione, minore sarà la possibilità di accensione, arrivando così al quantitativo più efficiente per il quale i campioni non risulteranno infiammabili. Inoltre, al variare della sua quantità, varia anche la densità: più il contenuto di fosfato di ammonio sarà alto, più il pannello sarà denso.

78. BATTEGAZZORE D., ALONGI J., DURACCIO D., FRACHE A., *Reuse and valorisation of hemp fibres and rice husk particles for fire resistant fibreboards and particleboards*, Journal of Polymers and the Environment, 2018

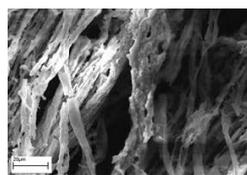




Figure 3.05 - “Digital pictures, SEM micrographs and EDX analyses of the final residue for H (a), H-ADP1 (b)”

Fonte: BATTEGAZZORE D., ALONGI J., DURACCIO D., FRACHE A., *Reuse and valorisation of hemp fibres and rice husk particles for fire resistant fibreboards and particleboards*, Journal of Polymers and the Environment, 2018

Altra valutazione di reazione al fuoco si è svolta su un pannello in fibra di canapa e di polietilene termolegate, in rapporto 92% - 8%, senza sottoporlo ad alcun trattamento inibente. In questa prova è stato usato il calorimetro a cono in grado di misurare l’infiammabilità tramite il consumo di ossigeno, sottoponendo la superficie del provino (10 x 10 cm) ad una radiazione termica uniforme (50 kW/m²). L’aggiunta del legante, fa sì che le fibre degradino più velocemente in quanto, il punto di fusione del polietilene è circa 130°C, mentre quello delle fibre di canapa è pari 150°C⁷⁹. Anche in questo caso è stata confermata l’influenza della densità sulla resistenza al fuoco: più compatte saranno le fibre, minore sarà l’ossigeno contenuto, dilatando il tempo di accensione.

79. FREIVALDE L., KUKLE S., ANDŽS M., BUKŠĀNS E. E GRĀVĪTIS J., *Flammability of raw insulation materials made of hemp*, Composites Part B: Engineering, Vol. 67, 2014, pp. 510-514

Infine, anche la varietà di fibra utilizzata è determinante in materia di comportamento al fuoco: al variare della densità lineare e del contenuto di lignina ed emicellulosa, i risultati possono essere differenti: una minor concentrazione di questi costituenti, porta ad un ritardo di accensione.

Durabilità

L’utilizzo dei pannelli in fibra di canapa nel campo edilizio, garantisce la durabilità nel tempo del sistema, infatti è una tra le più durevoli fibre di origine naturale in quanto presenta una buona resistenza alla sollecitazione e soprattutto all’aggressione da parte di parassiti e muffe. Un tempo, infatti, si pensi alle cime delle barche realizzate in fibra di canapa proprio per questo motivo!

La sua durabilità, può essere protratta nel tempo se la materia prima è sottoposta, in fase di lavorazione, a trattamenti chimici a base di alcali o l’aggiunta dei sali di boro. Questi trattamenti, come descritto in precedenza, fanno sì che il materiale non sia più al 100% naturale, riducendone la sostenibilità del pannello e compromettendo così la possibilità di decomporsi naturalmente.

Isolamento acustico

Una serie di misurazioni effettuate su campioni di fibre di origine naturale tra cui la canapa, hanno dimostrato come i materiali porosi siano dotati di coefficienti di assorbimento acustici buoni, in particolare nelle fasce delle medie e basse frequenze.

Consultando i prodotti sul mercato di Edilcanapa® S.r.l, i pannelli a bassa densità (35 kg/m³) presentano un coefficiente di assorbimento acustico⁸⁰ pari a 0,7, rientrando quindi nella classe di assorbimento acustico C. Invece, prendendo in considerazione quelli ad alta densità (100 kg/m³), appartengono alla classe A (la più alta), con un coefficiente α uguale a 1.

80. Scheda tecnica CANAPANNEL 35, Edilcanapa® S.r.l.

Salubrità

Altro importante vantaggio è la salubrità, infatti, essendo ricavati da fonti vegetali, a loro volta, se miscelate con materiali naturali, sono in grado di tutelare sia la salute dell'installatore che degli occupanti, eliminando il rischio di contatto con le sostanze nocive e senza alcun rilascio, in fase di posa, di polveri in ambiente.

Resistenza meccanica

La fibra di canapa è considerata una tra le migliori nella famiglia delle fibre naturali, grazie alla sua resistenza a trazione compresa tra 550 MPa e 1110 MPa, notevolmente maggiore rispetto alle fibre in cotone (287/800 MPa) e alla lana vergine (50-315 MPa). Questa viene però superata dal lino con un range tra 345 MPa a 1830 MPa⁸¹.

Per questo, negli anni, il laboratorio di Enea, a Faenza, ha eseguito numerose prove meccaniche sulle corde di canapa, per testare e confermare poi, l'ottima resistenza a trazione del materiale.

A seguito di ciò, ne deriva lo studio di Enea del 2016, durante il quale è stato brevettato un sistema che potesse migliorare il comportamento al sisma dei tamponamenti degli edifici. Si tratta di un sistema prefabbricabile da montare sulle pareti esistenti, a secco, formato da corde e da pannelli che possono essere disposti in modi differenti. Le corde, organizzate su piani inclinati e tenute insieme nella parte perimetrale da una fascia, rappresentano la base e, sfruttando la loro resistenza a trazione, si oppongono al ribaltamento della parete in caso di scossa e permettono il trasferimento del carico sismico alla struttura portante (pilastri)⁸². I pannelli posizionati a chiusura del sistema hanno funzione termoisolante.

81. KIM L., PICKERING M. G., ARUAN E., TAN MINH L., *A review of recent developments in natural fibre composites and their mechanical performance*, Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, Vol. 83, 2016, pp. 98-112

82. Fonte: www.sostenibilita.enea.it, consultato il 07/10/2022

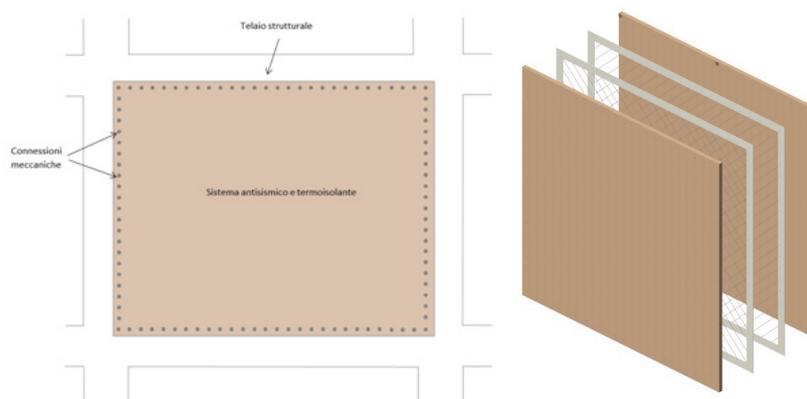


Figura 3.06 - “Kit antisismico e termoisolante brevettato da ENEA collegamento alla parte strutturale”

Fonte: www.industriaitaliana.it, consultato il 16/10/2022

Qualora l'applicazione del pannello richieda il raggiungimento di considerevoli resistenze a trazione e taglio, allora è possibile ricorrere, anche in questo caso, all'uso di trattamenti chimici con alcali. Infatti, il prodotto sottoposto ad un trattamento a base di NaOH allo 0,16%, per un lasso temporale di 48 h, incrementa le rispettive resistenze del 30% e del 50%, se relazionate a quelle del campione pre-trattamento. Con l'incremento poi della concertazione di NaOH, le resistenze subiranno ancora dei miglioramenti⁸³.

83. MAZEDUL M., HAO WANG K., TAK LAU A. K., CARDONA F., ARAVINTHAN T., *Mechanical properties of chemically-treated hemp fibre reinforced sandwich composites*, Composites Part B: Engineering, Vol. 43, pp. 159-169

Resistenza all'umidità

La struttura porosa delle fibre e la loro composizione fa sì che, come gran parte delle fibre di origine vegetale, siano materiali altamente traspiranti. L'emicellulosa, è il costituente caratterizzato da una grande capacità di assorbimento dell'umidità, seguita poi dalla cellulosa e dalla lignina, anche se in piccola parte. Nonostante il contenuto di emicellulosa non sia particolarmente elevato, ma con una percentuale considerevole di lignina, questo fa sì che il materiale possa assorbire l'umidità, rilasciandola gradualmente nel tempo. Questa sua peculiarità rende i pannelli adatti all'applicazione anche in luoghi umidi.

In realtà però, numerosi studi hanno affermato che, con l'aumento della concertazione di acqua all'interno del materiale, diminuiscono considerevolmente le proprietà meccaniche.

Per far fronte a questo limite, è possibile ricorrere, ad esempio, al trattamento delle fibre con alcali, come dimostrato dallo studio “*Modification of hemp fibers (Cannabis Sativa L) for composite applications*”, capace di ridurre l'assorbimento d'acqua migliorando l'adesione tra la matrice fibrosa e il legante⁸⁴. Inoltre, anche i trattamenti enzimatici con la rimozione delle pectine, sono efficaci per la diminuzione dell'idrofilia delle fibre.

84. VÄISÄNEN T., BATELLO P., LAPPALAINEN R., TOMPPU L., *Modification of hemp fibers (Cannabis Sativa L) for composite applications*, Industrial Crops and Products, vol. 11, 2018, pp. 422-429

Flessibilità e lavorabilità

Si tratta di un isolamento flessibile ed elastico che si adegua perfettamente in condizioni in cui gli spazi siano limitati. A differenza della miscela di calce e canapulo, anche un pannello di spessore minimo è in grado già di garantire ottime condizioni di comfort termico negli edifici.

La sua facilità di lavorazione rende la posa accelerata, infatti i pannelli possono essere dimensionati o adeguati direttamente nel cantiere, con appositi attrezzi (forbici o seghetti), in base alle esigenze.

Impatto ambientale

La sostenibilità dei pannelli in fibra di canapa destinati ad applicazioni in ambito edilizio è stata valutata prendendo in considerazione 1 m² di parete isolata con un pannello composto dal 15% di fibre in poliestere, l'85% dalle fibre di canapa e poi trattato con sali di boro. La trasmittanza termica finale è pari a 0,2 W/m²K.

L'approccio utilizzato nell'analisi è "dalla culla al cancello", partendo quindi dalla coltivazione per arrivare alla produzione del pannello.

Per la valutazione dell'impatto relativo alle fasi di coltivazione, i dati primari sono stati resi noti dall'associazione Assocanapa, mentre i dati secondari (relativi alla produzione di fertilizzanti manutenzione di macchinari ecc.) sono stati recuperati dai database. In merito alle fasi di produzione del pannello, non essendoci a disposizione dei dati, sono stati presi a riferimento quelli relativi ai pannelli in fibra di kenaf, le cui proporzioni tra i costituenti sono le medesime

Essendo questo studio finalizzato poi alla comparazione dell'impatto ambientale del pannello in fibra di canapa con quello in lana di roccia, i risultati hanno dimostrato come la parete isolata con la canapa abbia una sostenibilità notevolmente maggiore, individuando un valore negativo circa pari a -4,80 kg di CO₂e.

In sintesi, considerando le due pareti con le stesse caratteristiche termiche, ma differenti materiali isolanti, la domanda di energia cumulativa (CED) e l'impatto sul cambiamento climatico hanno dimostrato che, l'impiego di materiali naturali come la canapa, comporta livelli di sostenibilità del prodotto finale notevolmente maggiori⁸⁵.

85. ZAMPORI L., DOTELLI G., VERNELLI V., *Life Cycle Assessment of Hemp Cultivation and Use of Hemp-Based Thermal Insulator Materials in Buildings*, Environmental Science and Technology, 2013

3.3 - Campi di applicazione

Anche i pannelli in fibra di canapa, come il conglomerato in calce e canapulo, possono essere impiegati per l'isolamento sia negli interventi di nuova costruzione che in quelli di riqualificazione, risanamento e restauro. Il loro uso è molto comune per isolare le superfici orizzontali (solai), quelle verticali, quelle inclinate (coperture) e le intercapedini. La semplice modalità di posa fa sì che possa concludersi anche in breve tempo, senza particolari complessità.

Intercapedine

Nell'isolamento delle intercapedini, si interviene posizionando il pannello in fibra di canapa all'interno di una struttura contenitiva, in legno o in metallo, che ne favorisce il supporto e l'aderenza alla muratura. Questo sistema necessita però di uno strato di chiusura, che può essere costituito ad esempio da lastre in gesso, lastre in canapulo e calce o da pannelli in legno.

Essendo un sistema realizzato "a secco" e di conseguenza smontabile, vi è una maggior facilità nelle operazioni di manutenzione e, nel fine vita, i materiali potranno essere recuperati.



Figura 3.07 - Posa dei pannelli in fibra di canapa nell'intercapedine

Fonte: www.edilcanapasrl.it, consultato il 16/10/2022

Solai e coperture

L'applicazione di questo materiale per l'isolamento di solai interpiano, sottotetti e coperture, anch'essa richiede la realizzazione di un'orditura di partenza.

Nel caso di solai calpestabili, è necessario un tavolato in legno o in legno e canapa a chiusura dei pannelli, sul quale viene poi realizzata la pavimentazione. Qualora si trattasse di un sottotetto non calpestabile, la posa della pavimentazione può essere omessa.



Figura 3.08 - Isolamento della copertura con pannelli in fibra di canapa

Fonte: www.edilcanapasrl.it, consultato il 18/10/2022

Cappotto isolante

L'impiego dei pannelli in fibra di canapa è anche molto diffuso nell'isolamento a cappotto, adatto sia per l'applicazione in interno che per l'esterno.

La posa può avvenire in due modalità differenti, sia "a secco" che "a umido".

Nella posa "a umido", i pannelli (densità raccomandata superiore agli 80 kg/m^3)⁸⁶ vengono incollati al supporto preesistente con miscele fissative, anch'esse di base naturali.

Per l'applicazione "a secco", vengono interposti tra telai lignei o metallici e, a chiusura del pacchetto isolante, per garantirne la tenuta, vengono fissate delle lastre rigide. Proprio per questo, è possibile impiegare dei pannelli con densità inferiore (35 kg/m^3) rispetto ai precedenti.

86. Fonte: www.edilcanapasrl.it, consultato il 18/10/2022



Figura 3.09 - Isolamento a cappotto in pannelli in fibra di canapa

Fonte: Raccolta personale



CAPITOLO 04

CAPPOTTO IN CANAPA
- POSA IN OPERA

4.1 - Il sistema a cappotto

Nel tempo, la necessità di migliorare dal punto di vista energetico gli edifici ha assunto notevole importanza, e oggi rimane una delle priorità del settore edilizio per far fronte e rispettare i vincoli ambientali e per ridurre i futuri costi di gestione degli immobili.

Tra le innumerevoli soluzioni per isolare termicamente il patrimonio immobiliare, il sistema a “cappotto termico”, anche conosciuto come ETICS (*External Thermal Insulation Composite System*), risulta essere il più comune. Si inizia a parlare di questa tipologia con la Crisi Petrolifera del 1973 e, già sperimentato in Francia e Germania, in pochi anni si diffuse in Italia avvalendosi dell’interesse di costruttori e progettisti.

L’isolamento a “cappotto esterno” deve il suo grande successo alla possibilità di applicare, sull’involucro opaco, un isolamento continuo e, essendo utilizzato in esterno, alla capacità di limitare i disagi qualora si intervenga con una ristrutturazione e l’immobile sia abitato.

Il suo impiego presenta numerosi vantaggi e tra questi ritroviamo:

- la riduzione dello scambio termico tra l’ambiente interno e quello esterno, migliorando quindi il comfort termico. Inoltre, riducendo la necessità di condizionamento, sia invernale che estivo, ne consegue una diminuzione dei costi di gestione e l’attenuazione delle emissioni di gas ad effetto serra in ambiente.
- l’eliminazione dei ponti termici, eliminando il rischio di formazione di muffa o di condensa superficiale, garantendo la salubrità degli ambienti e contribuendo al benessere degli occupanti.
- la protezione delle pareti esterne dall’azione degli agenti atmosferici come la pioggia, il vento e la neve.
- un incremento di classe energetica e di conseguenza anche del valore economico dell’immobile.

In fase di progettazione, è opportuno valutare quali materiali isolanti impiegare sulla base delle caratteristiche non solo di isolamento termico, ma anche dal punto di vista acustico, della sostenibilità ambientale, dei costi e del fine vita. Sul mercato sono disponibili una vasta gamma di prodotti, sia di matrice polimerica come l’EPS (polistirene espanso sinterizzato), che di origine naturale come i pannelli in fibra di canapa, il conglomerato in calce e canapulo, il sughero, la lolla di riso, la fibra di legno e la fibra di kenaf.

La posa in opera

La posa in opera è una delle fasi più rilevanti di un processo costruttivo e rappresenta la vera e propria costruzione ed esecuzione, durante la quale gli operai specializzati realizzano l'isolamento a cappotto strato per strato, seguendo nel dettaglio le indicazioni definite durante la progettazione.

Questa fase è regolata da specifiche normative, tra cui *“La Norma UNI/TR 11715:2018: progettazione e posa del sistema a cappotto”*⁸⁷ e il mancato rispetto comporta l'impossibilità di rilascio della certificazione dell'edificio, obbligatoria per l'ottenimento della licenza d'uso. La correttezza viene verificata da un soggetto certificatore esterno all'Azienda, che durante la fase di realizzazione, effettuerà alcuni sopralluoghi. L'individuazione di anomalie, può comprometterne il rilascio e al tempo stesso l'efficienza dell'edificio.

Per ogni tipologia di isolamento a cappotto sono previste delle regole, dei procedimenti e delle modalità di posa specifiche. Infatti, analizzando l'uso della canapa nell'isolamento esterno, a seconda della tipologia del materiale (conglomerato in canapa e calce e pannelli in fibra di canapa), la posa in opera può svolgersi con il sistema “a secco” o “a umido”.

4.2 - Cappotto in canapa : posa in opera “a umido”

La modalità di posa in opera con sistema “a umido” prevede l'utilizzo di risorse idriche per la lavorazione dei materiali e, parte dei componenti, vengono prodotti all'interno del cantiere stesso.

Nella nostra nazione, la scelta di sistemi che richiedano l'impiego di malte di incollaggio e leganti è ancora molto comune, si pensi ad esempio alle strutture portanti in laterizio, oppure a quelle in calcestruzzo.

Per questo comune sistema, le miscele vengono fornite sotto forma di polvere, contenute all'interno di sacchi (20 kg o 25 kg) per semplificare la fase di trasporto. All'interno del sito poi, vengono unite all'acqua, in specifiche quantità, formando impasti facilmente lavorabili. In alternativa, alcune aziende, mettono a disposizione prodotti già miscelati, pronti per essere posati.

Terminata la fase di posa, il contenuto idrico tende ad evaporare fino a che queste risulteranno completamente secche, solide e garantiranno compattezza e solidità nella struttura.

In seguito sono descritte due differenti tipologie di posa in opera dell'isolamento a cappotto in canapa “a umido”, con riferimento a due reali “Casi Studio” che ho avuto modo di

87. Fonte: www.cortexa.it, consultato il 10/11/2022

seguire direttamente nella loro realizzazione.

4.2.1 - Il conglomerato in canapa e calce

La realizzazione dell'isolamento a cappotto in calce e canapulo si articola in più fasi: preparazione del supporto e realizzazione del basamento, posizionamento dell'orditura e realizzazione dei casseri, preparazione della miscela, realizzazione del getto, asciugatura e stesura di intonaci e finiture.

Preparazione del supporto e realizzazione del basamento

In primis è necessario valutare le condizioni del supporto per poi procedere con le fasi successive.

Sulle superfici grezze, in pietra o in laterizio, devono essere rimosse eventuali tracce d'intonaco, le polveri e tutte le parti fragili ed ammalorate; per quelle lisce, realizzate ad esempio in cemento, è opportuna la stesura di un rinzaffo, preferibilmente a base di calce, per garantire l'aggrappo del getto.

Nella parte basamentale, qualora la struttura fosse a diretto contatto con il terreno e soggetta ad umidità di risalita, possibile causa di degrado del materiale, vengono posizionati dei blocchi in vetro cellulare o in calcestruzzo cellulare idrofobizzato per un'altezza di circa 20 - 30 cm, in grado di contrastare questo fenomeno.

Posizionamento dell'orditura e realizzazione dei casseri

L'uso del getto in calce e canapulo è un sistema che richiede il posizionamento di un'orditura lignea per garantire la tenuta e l'adesione del pacchetto isolante alla muratura esistente. Questa struttura può essere realizzata in due modi differenti: utilizzando il sistema definito ad "intercapedine", i casseri sono costituiti da elementi in legno che verranno inglobati nello strato di intonaco termico, perciò possiamo definirli come "casseri a perdere". Utilizzando la modalità "tradizionale", la fase di getto, richiede invece il fissaggio di casseri temporanei che al termine verranno rimossi.

Sistema "ad intercapedine"

Adottando il sistema "ad intercapedine" è possibile realizzare un'orditura lignea a sostituzione dei casseri temporanei. In questo caso, infatti, il supporto del getto è costituito da listelli orizzontali in legno e da una rete di contenimento, e viene inglobato all'interno della parete stessa.

Alla muratura esistente vengono ancorati dei murali (montanti in

legno), mediante delle staffe pre-forate a forma di “L” o a forma di “U”. Sugli elementi verticali, man a mano che procede il getto, viene fissata la rete di contenimento, la cui maglia consigliata è pari a 0,5 cm e, a chiusura del sistema, una listellatura lignea orizzontale (con dimensione di circa 5 x 3 cm) ad un interasse non superiore a 10 cm.

Sistema tradizionale

Nel sistema tradizionale, l’orditura lignea è costituita da listelli verticali (dimensioni 4 x 6 cm circa) posizionati ad un interasse variabile tra i 70 e 90 cm, fissati alla muratura esistente con elementi metallici ad “L”, a loro volta ancorati al supporto con tasselli a percussione. Ad ultimazione, i listelli orizzontali con dimensioni inferiori rispetto ai precedenti (2 x 6 cm), vengono fissati, ogni 50 cm, a quelli verticali con viti da legno.

Questo sistema, in fase di getto, richiede una struttura contenitiva costituita da casseri temporanei (in legno, in metallo o in plastica) posizionati per strati man mano che si procede con il riempimento, partendo dal basso verso l’alto. Questi vengono fissati all’orditura tramite dei distanziali, rendendo la parete complanare ed uniforme.

Preparazione della miscela

Il conglomerato si ottiene, come descritto in precedenza, dall’unione del canapulo, della calce (il legante) e l’acqua. Può essere prodotta direttamente in cantiere o in alternativa, nello stabilimento, giungendo al sito di posa pronta all’uso.

Preparazione in cantiere

All’interno del cantiere, la miscela viene prodotta mediante l’ausilio di mezzi meccanici tra cui: il miscelatore orizzontale che permette di ottenere una maggior quantità di prodotto e di migliore qualità, o di una betoniera da cantiere, utilizzata in condizioni di spazio limitato.



Figura 4.01 - Da sinistra il miscelatore orizzontale e la betoniera da cantiere
Fonte: www.costruiresicuro.it, consultato il 15/11/2022

Il processo di produzione *in situ* è una fase fondamentale perché determinante dal punto di vista prestazionale, ed è consigliato per realizzazioni di dimensioni contenute. La sua fabbricazione avviene per fasi: dopo aver inserito il canapulo all'interno del miscelatore o della betoniera e averlo inumidito, una volta azionata la macchina, viene aggiunto il legante in modo tale che, con la miscelazione, si formi uno strato di calce intorno ad ogni pezzo di canapulo. Di solito l'impasto forma dei grumi, e sarà quindi fondamentale l'aggiustamento con l'acqua per ottenere una miscela omogenea.

Tra le regole ed accorgimenti per un conglomerato di qualità troviamo:

- è necessario verificare che il prodotto finale sia umido ma non bagnato
- la percentuale di acqua che viene utilizzata può variare a seconda delle condizioni ambientali del sito di posa, come l'umidità e la temperatura
- è opportuno effettuare alcuni test empirici al fine di valutare le adeguate proporzioni tra i costituenti. Dopo aver prelevato un campione ed averlo sottoposto a pressione, qualora la miscela al termine della prova risulti molto compatta, il quantitativo di acqua eccede a quella richiesta; quando il campione tende a sgretolarsi, l'acqua utilizzata nell'impasto sarà scarsa; infine, una miscela ottimale avrà tendenza ad espandersi.
- la percentuale del legante influisce sulla percentuale di acqua.



Figura 4.02 - Miscelazione dei costituenti all'interno di una betoniera da cantiere - Figura 4.03 - Consistenza ottimale della miscela

Fonte: www.labarchitettura.com, consultato il 15/11/2022

Fonte: www.canapaindustriale.it, consultato il 15/11/2022

Preparazione nello stabilimento

Alcune aziende, tra cui la Calce Piasco, producono il conglomerato all'interno dello stabilimento, e una volta inserita all'interno delle big bags, sacchi di polipropilene, vengono agevolmente

trasportati al sito di posa. In questo modo, il materiale è pronto per essere gettato o “spruzzato” senza la necessità di alcuna lavorazione in cantiere.



Figura 4.04 - Big Bags dell’azienda Calce Piasco S.r.l
Fonte: Raccolta personale

Realizzazione del getto

Il getto rappresenta la fase cruciale nella realizzazione dell’isolamento a cappotto, il quale deve essere effettuato con cura e dedizione, rispettando i tempi prestabiliti. Sia nel sistema “tradizionale” che in quello “ad intercapedine” si procede partendo dalla parte basamentale e spostandosi verso l’alto. Le modalità di esecuzione sono due: quella manuale e quella meccanica, a seconda della disponibilità del macchinario e dalle dimensioni del cantiere.

Getto manuale

Questa modalità fa sì che l’inserimento della miscela all’interno della struttura contenitiva venga fatto manualmente, con l’aiuto di pale da muratore. Al fine di garantire densità omogenea e continuità al getto, al completamento di ogni singolo strato, il materiale dovrà essere compattato con un “pestello”.



Figura 4.05 - Getto manuale della miscela in canapa e calce
Fonte: Raccolta personale

Getto meccanico

In alternativa al getto manuale vi è anche la modalità “a spruzzo” che prevede l’utilizzo di apposite pompe di proiezione e di trasporto, riducendone le tempistiche. Si tratta di macchine a rotore di semplice utilizzo, in grado di proiettare il conglomerato, tramite dei tubi, all’interno delle strutture contenitive fino a distanze verticali di 40 m, adattandosi ad ogni situazione. Sono dotate di un motore pneumatico o elettrico e permettono di adeguare, a seconda della dimensione del cantiere, la portata della macchina.

Dopo aver prelevato la miscela dalla big bag o dal miscelatore orizzontale, viene inserita all’interno del contenitore, e dopo l’azionamento, l’operatore può iniziare la fase di getto meccanico sorreggendo il tubo ad un’adeguata distanza dalla parete.

In questo caso non è necessaria la compattazione grazie alla possibilità di regolare la pressione dello “spruzzo”.



Figura 4.06 - Getto meccanico della miscela in calce e canapulo
Fonte: www.equilibrium-bioedilizia.it

Asciugatura

Una volta concluso il getto dell’intera parete, affinché il materiale possa stabilizzarsi e acquisire le adeguate caratteristiche, è necessario che l’acqua contenuta all’interno di esso evapori.

L’igroscopicità del canapulo fa sì che le tempistiche di asciugatura siano dilatate rispetto a quelle di altri materiali e sono fortemente influenzate dalla tipologia di legante che viene utilizzato. Infatti, l’impiego della calce aerea, a differenza della calce idraulica, ne prolunga l’asciugatura. Inoltre, anche le condizioni climatiche del sito in cui avviene il getto sono determinanti per questo aspetto.

L’asciugatura può variare tra i 30 e i 60 giorni, e la miscela si indurisce progressivamente assumendo le caratteristiche finali.

Stesura di intonaci e finiture

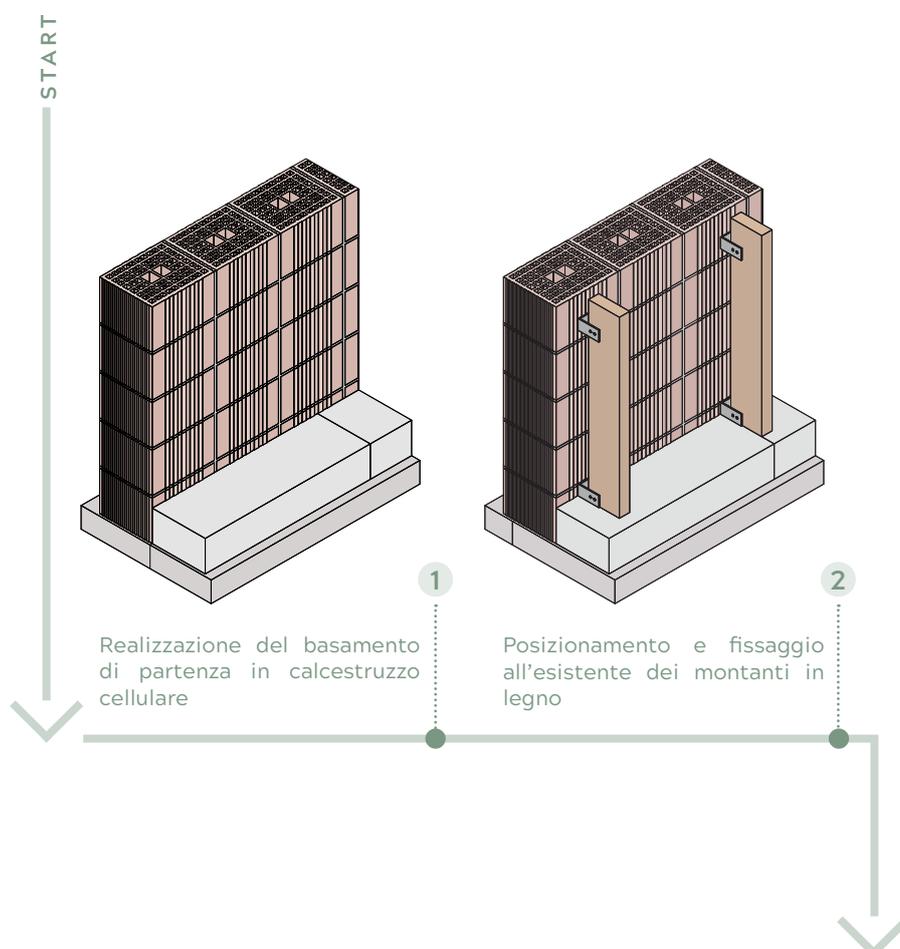
Essendo il conglomerato un materiale altamente traspirante, è fondamentale la scelta degli intonaci e delle finiture. Sono tendenzialmente preferite miscele a base di calce o di calce e canapulo fine, rispetto a quelle polimeriche, in quanto ridurrebbero significativamente la traspirabilità della parete, la salubrità degli spazi e la sostenibilità.

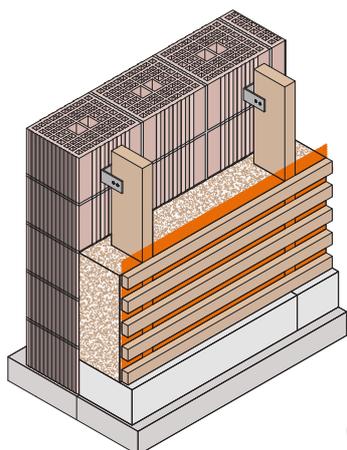
Terminato il getto, viene applicato uno strato di intonaco di finitura di spessore pari a 2/3 cm, nel caso di parete realizzata con modalità tradizionale.

Invece, analizzando quella “ad intercapedine”, dovendo inglobare i “casseri a perdere”, viene utilizzato l’intonaco termico, in grado di contribuire all’ulteriore miglioramento delle prestazioni finali dell’edificio e di colmare spessori maggiori. A completamento del pacchetto isolante, viene poi stesa la finitura superficiale, in alcuni casi anche pigmentata.

Sistema “ad intercapedine”

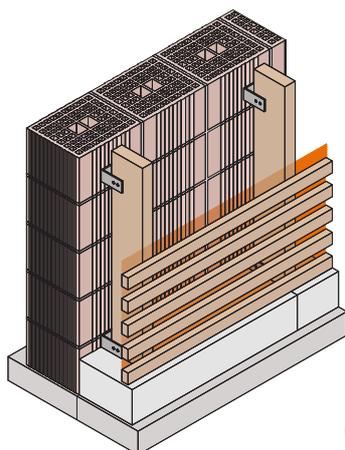
Di seguito sono riassunte graficamente le fasi di realizzazione dell’isolamento a cappotto ad intercapedine.





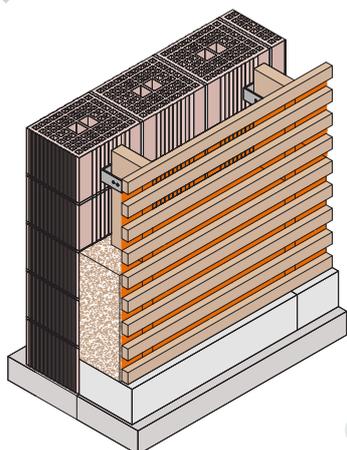
4

Realizzazione del getto in calce e canapulo e compattazione



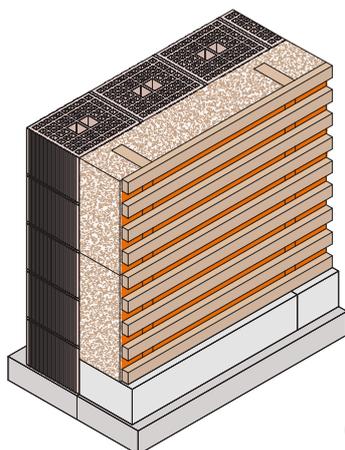
3

Fissaggio della rete di contenimento e dei listelli



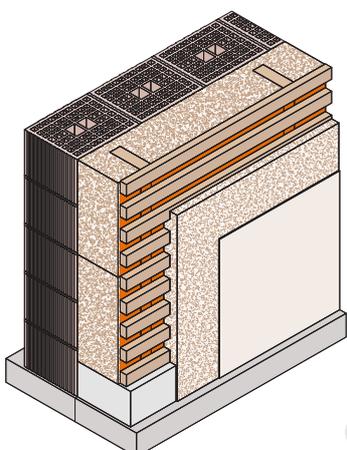
5

Prosecuzione della listellatura in legno



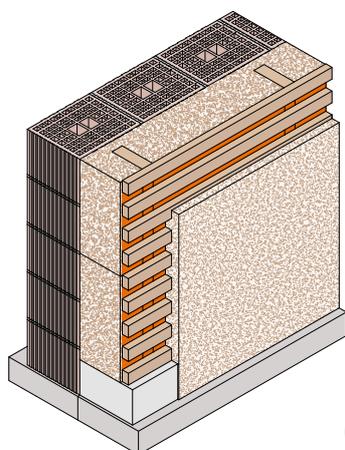
6

Realizzazione del secondo strato di getto e compattazione



8

Applicazione della finitura pigmentata



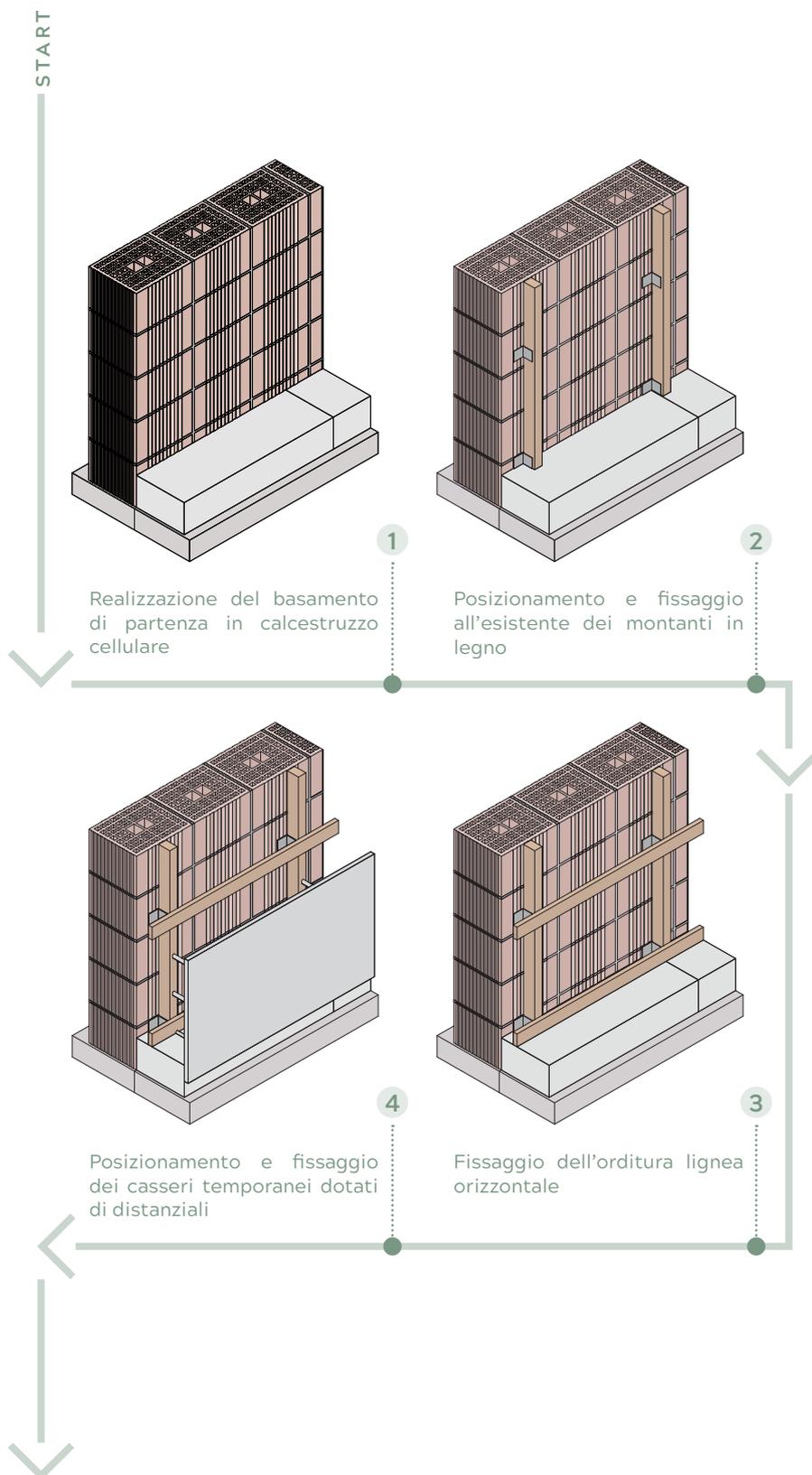
7

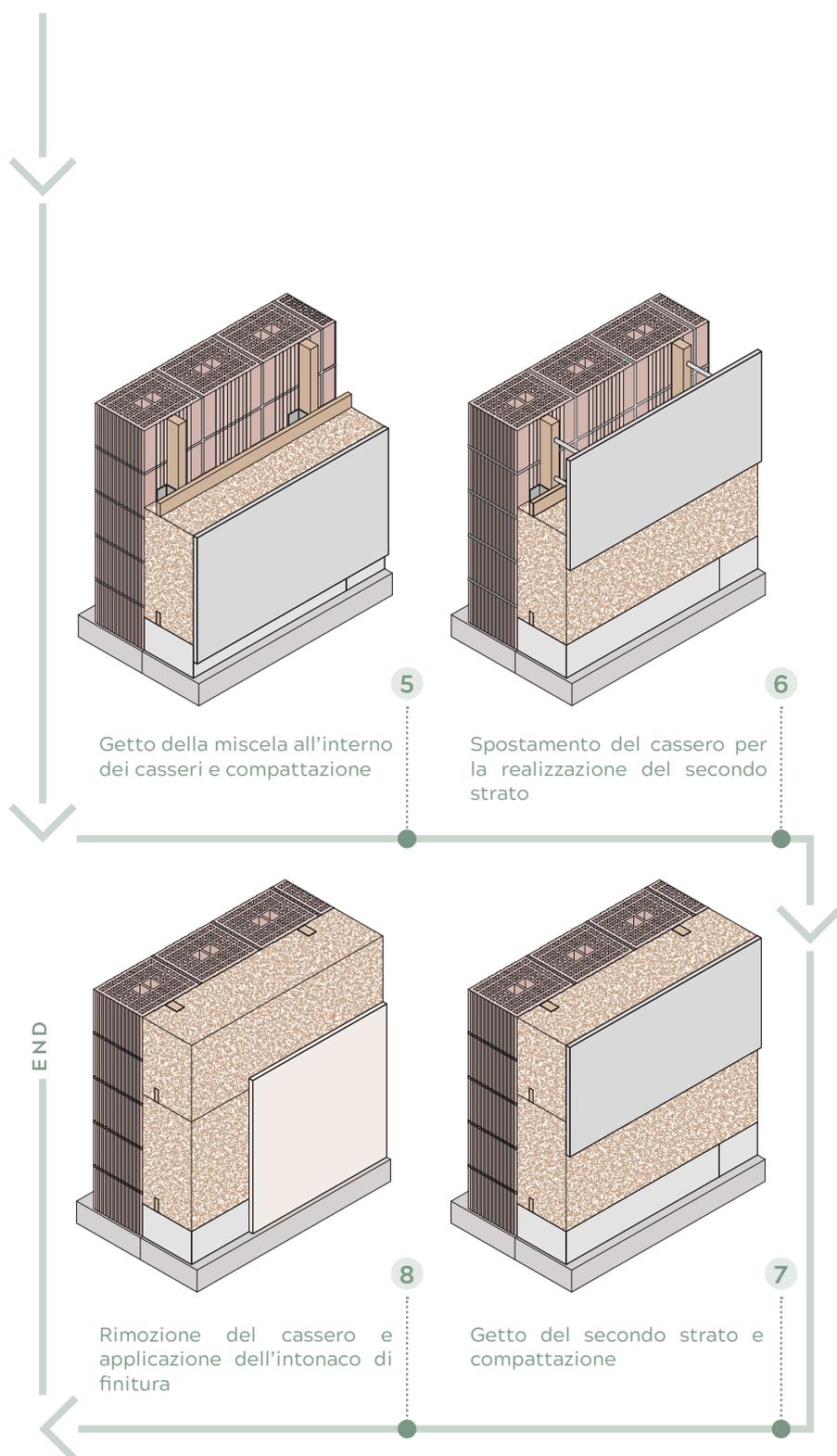
Stesura dello strato di intonaco isolante

END

Sistema tradizionale

Di seguito sono riassunte graficamente le fasi di realizzazione dell'isolamento a cappotto con sistema tradizionale.





4.2.2 Caso Studio 01

Luogo: Piasco (CN) - Piemonte

Progettista: Studio B&B - Architettura e Progetti

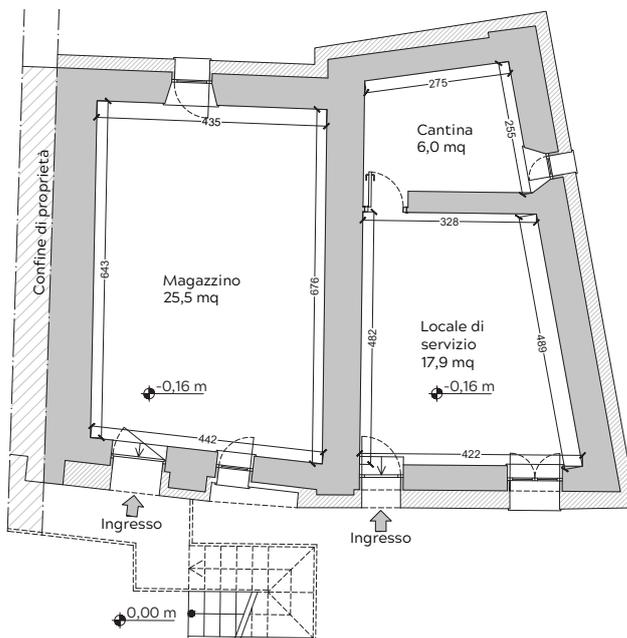
Anno di ristrutturazione: 2020 - attualmente

Sistema di isolamento a cappotto: getto in calce e canapulo

Contesto: collinare

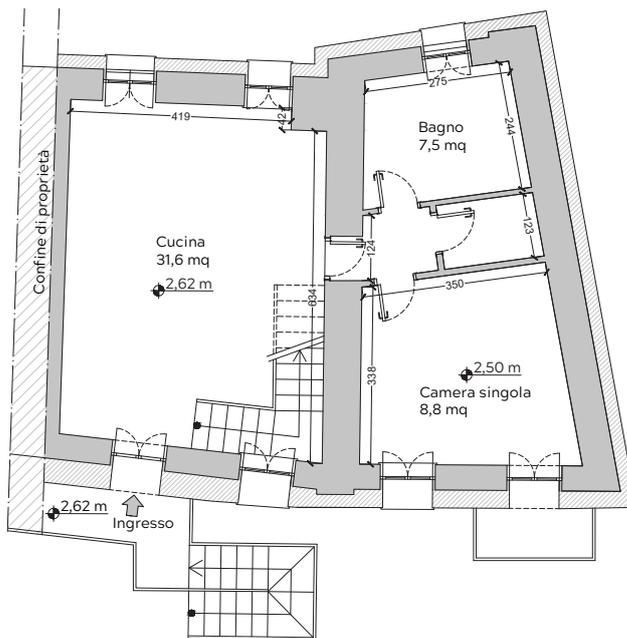
Zona climatica: E

Committente: privato



Pianta Piano Terra

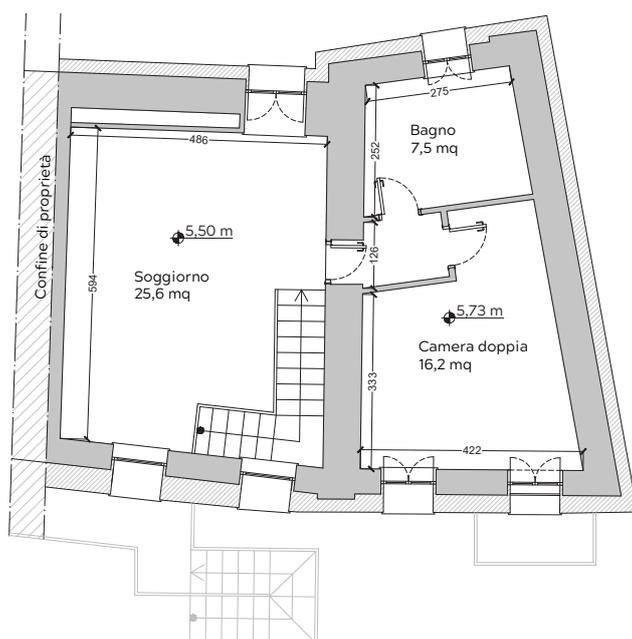
Elaborazione personale del disegno concesso dallo Studio B&B - Architettura e Progetti



Pianta Piano Primo

Elaborazione personale del disegno concesso dallo Studio B&B - Architettura e Progetti





Pianta Piano Secondo

Elaborazione personale del disegno
concesso dallo Studio B&B -
Architettura e Progetti

0 1 2 5 m



Prospetto SUD

Elaborazione personale del disegno
concesso dallo Studio B&B -
Architettura e Progetti

0 1 2 5 m

Casa “Bau” si tratta di un edificio privato ad uso abitativo, di circa 150 m², costruito nella seconda metà del ‘800. Dopo numerosi passaggi di proprietà e viste le sue fatiscenti condizioni, in particolare della copertura, nell’anno 2020, il proprietario ha espresso la volontà di riqualificarlo e destinarlo ad abitazione personale.

I lavori, affidati alla cura dello Studio B&B - Architettura e Progetti, prevedevano:

- la riconfigurazione degli spazi interni adattandolo alle esigenze espresse dai committenti

- la realizzazione del corpo scala esterno che conduce al piano primo, e della scala interna che collega il primo piano con il secondo.
- il rifacimento della copertura
- la realizzazione degli impianti termici ed elettrici

Al fine di migliorare il comfort termico interno e le prestazioni dell'involucro esterno è previsto:

- il posizionamento di nuovi serramenti
- la realizzazione dell'isolamento a cappotto esterno in calce e canapulo e l'isolamento, con il medesimo materiale, della copertura
- la realizzazione di contro-pareti interne in cartongesso al fine di uniformare e omogenizzare i locali interni

Nello specifico, l'isolamento a cappotto esterno è costituito dal conglomerato in calce e canapulo (Carcecanapa® S.r.l - Calce Piasco S.r.l), realizzato con la modalità "ad intercapedine", il cui supporto è costituito da listelli in legno (con sezione pari a 5 x 3 cm) ancorati a dei montanti verticali anch'essi in legno. È opportuno precisare che in questo specifico caso, essendo presente una pavimentazione in calcestruzzo lungo tutto il perimetro dell'edificio, a protezione del getto è stata utilizzata una guaina bituminosa ed impermeabile.



Figura 4.07 - Da sinistra: elementi di ancoraggio, posizionamento e fissaggio dei montanti verticali.

Fonte: Raccolta personale

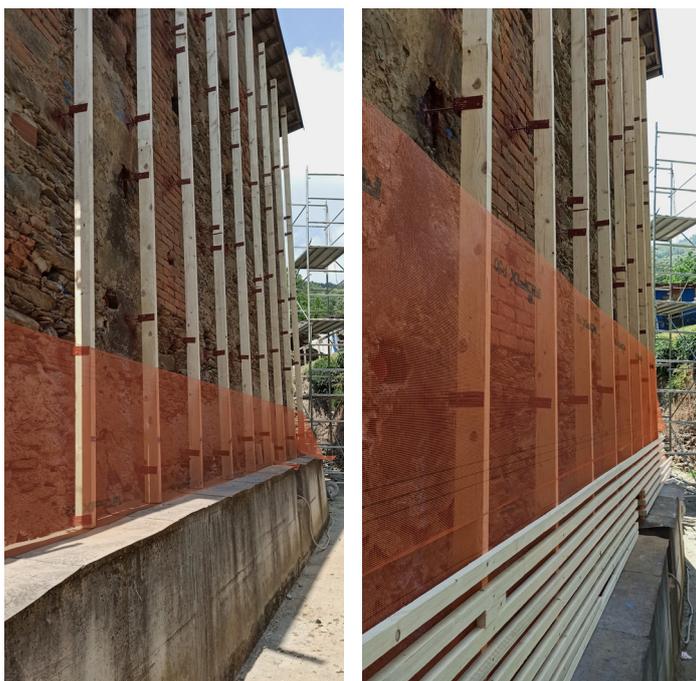


Figura 4.08 - Da sinistra: fissaggio della rete di contenimento e posizionamento dei listelli orizzontali

Fonte: Raccolta personale

La miscela di canapa e calce è giunta al sito all'interno delle big bags, e dopo aver completato la struttura di contenimento, è stata gettata per strati e successivamente compattata con l'ausilio di un "pestello in legno".



Figura 4.09 - Da sinistra: arrivo della miscela in big bags e consistenza della miscela in calce e canapulo.

Fonte: Raccolta personale



Figura 4.10 - Da sinistra: compattazione della miscela con il “pestello” e completamento della parete
 Fonte: Raccolta personale

Al termine del getto è stato posato uno strato di intonaco termico, anch'esso in canapulo e calce, (Calcecanapa® S.r.l.) prodotto in sito, di spessore medio pari a 4,5 cm. A conclusione del pacchetto isolante vi sono 2 mm di finitura superficiale.



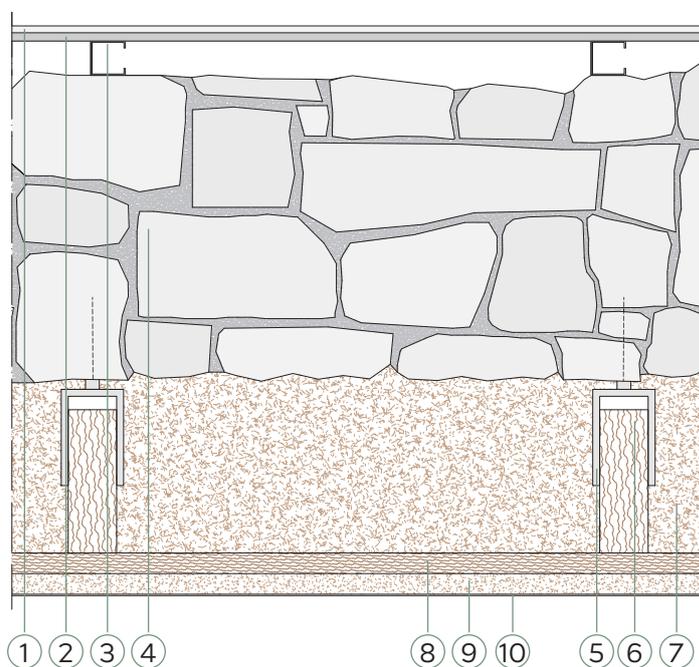
Figura 4.11 - Da sinistra: applicazione dello strato di termointonaco
 Da destra: in alto il prospetto SUD completato, in basso il prospetto NORD completato
 Fonte: Raccolta personale

Vista l'irregolarità della muratura in pietra esistente la cui superficie esterna era ricca di riseghe e sporgenze, l'uso di questo sistema di isolamento si è rivelato un'ottima soluzione per uniformarne la superficie e renderla esteticamente migliore. Per questo stesso motivo, come anche visibile dalle planimetrie dell'edificio, lo spessore dell'isolamento a cappotto è variabile tra i 25 cm e i 45 cm circa.

Interessante è l'analisi del miglioramento delle prestazioni termiche, nello specifico della trasmittanza termica (U), prima e dopo l'intervento di efficientamento energetico. Essendo come in precedenza descritto un edificio fatiscente, in pietra misto laterizio, in origine privo di finiture sia in interno che in esterno, la simulazione di calcolo di questo parametro determina un valore di $1,422 \text{ W/m}^2\text{K}$ (considerando come spessore della muratura 48 cm).

Le valutazioni effettuate a seguito della riqualificazione, nei punti in cui lo spessore del getto è maggiore (45 cm), si ottiene un valore pari a $0,089 \text{ W/m}^2\text{K}$ mentre, nel punto in cui lo spessore del getto è minore (25 cm), la trasmittanza termica è $0,127 \text{ W/m}^2\text{K}$.

In conclusione, la stratigrafia utilizzata garantisce il rispetto dei requisiti minimi di trasmittanza termica per la Zona climatica E, di $0,280 \text{ W/m}^2\text{K}$.



Stratigrafia della parete a seguito dell'intervento di efficientamento energetico

0 10 20 50 cm

- | | |
|-------------------------|-----------------------------|
| ① Intonaco | ⑥ Murali |
| ② Lastra in cartongesso | ⑦ Getto in calce e canapulo |
| ③ Struttura di supporto | ⑧ Listelli in legno |
| ④ Muratura in pietra | ⑨ Termintonaco |
| ⑤ Ancoraggio a "U" | ⑩ Finitura |

4.2.3 - I pannelli in fibra di canapa

La realizzazione dell'isolamento a cappotto in pannelli in fibra di canapa con applicazione "a umido" si articola in: preparazione del supporto e realizzazione della zoccolatura, preparazione della malta di incollaggio, incollaggio dei pannelli, fissaggio con i tasselli e stesura di intonaci e finiture.

Preparazione del supporto e realizzazione della zoccolatura

In primo luogo, vengono effettuate le valutazioni e le verifiche in merito alle condizioni del supporto, alla sua resistenza, alla presenza di eventuali tracce di disarmante, polveri o sfarinamenti e pitture in parte scrostate. In tal caso si interviene con la spazzolatura, con la rimozione di eventuali materiali e, qualora la parete fosse umida, è necessario attendere che queste parti siano perfettamente asciutte.

I pannelli possono essere posizionati su qualsiasi materiale tra cui calcestruzzo, tufo, cemento armato, laterizio, legno e muratura.

È fondamentale, anche in questo caso, prevedere una zoccolatura in vetro cellulare o calcestruzzo cellulare idrofobizzato, lungo tutto il perimetro interessato. In tal modo, il materiale isolante, non essendo a diretto contatto con il terreno, non sarà soggetto all'umidità di risalita e sarà protetto dagli schizzi d'acqua. Inoltre, per garantire un miglior allineamento, una maggior tenuta del pannello e un'ulteriore protezione, è possibile inserire un profilo ad "U" o angolare, in lega di alluminio, fissato meccanicamente alla muratura portante con tasselli ad espansione.

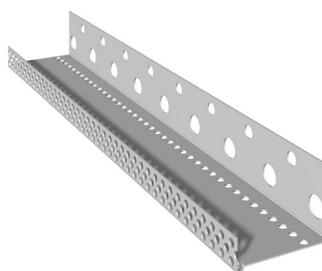


Figura 4.12 - Profilo angolare di partenza
Fonte: Manuale di posa Calcecanapa CAPPOTTO

Preparazione della malta di incollaggio

Solitamente, per una maggiore sostenibilità della parete, anche la malta di incollaggio è realizzata con materie prime di origine naturale, tra cui la calce idraulica naturale (NHL) e polverino di canapa.

Per la sua preparazione in cantiere è fondamentale la presenza di una betoniera o dell'impastatrice. Una volta inserita la malta premiscelata (fornita in sacchi) all'interno dell'apposito contenitore, viene aggiunto il quantitativo di acqua richiesto e si procede poi con la miscelazione fino al raggiungimento della consistenza ideale.

L'azienda Edilcanapa® S.r.l. raccomanda, ad esempio, una percentuale di acqua compresa tra 60% - 70% per ogni sacco da 25 kg di malta premiscelata.

Incollaggio dei pannelli

Per quanto riguarda la fase di posa dei pannelli (densità non inferiore agli 80 kg/m³), è variabile in funzione alle condizioni della parete. Se il supporto è regolare, allora è possibile applicare la malta su tutta la superficie delle lastre, con l'ausilio della spatola dentata a denti larghi.

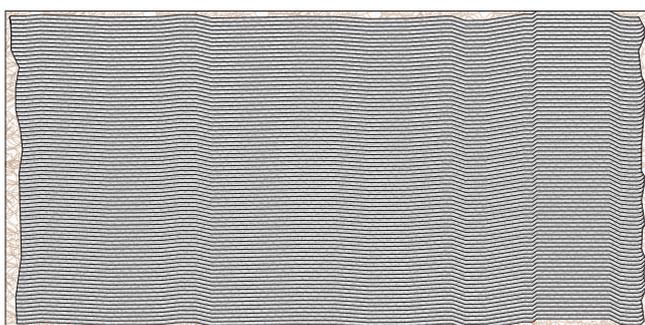


Figura 4.13 - Stesura malta di incollaggio

Fonte: Elaborazione personale dei disegni Edilcanapa® S.r.l.

In caso contrario, se la superficie presenta disomogeneità, allora il collante dovrà essere posizionato lungo il bordo perimetrale, efficace dal punto di vista dell'isolamento termico in quanto impedisce la circolazione dell'aria, e con due o tre punti nell'area centrale.

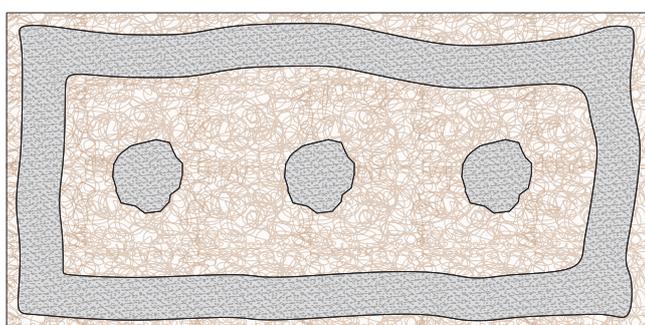


Figura 4.14 - Stesura malta di incollaggio

Elaborazione personale dei disegni Edilcanapa S.r.l.

In entrambe i casi, la superficie minima di incollaggio raccomandata deve tassativamente essere superiore al 40% dell'area del pannello. Lo spessore dello strato va da un minimo di 5 mm ad un massimo di 1 cm, e il lato ruvido deve essere rivolto verso il supporto, poiché in grado di garantire l'adesione e la tenuta.

La posa avviene partendo dal basso, in aderenza al profilo di partenza e percorrendo tutto il perimetro inferiore. Terminata la fascia basamentale si procede in verticale con attenzione allo sfasamento dei giunti in modo tale che negli spigoli, lo sporto dei vari corsi sia alternato. Infine, per proteggere l'angolo e renderlo "vivo", vengono posizionati paraspigoli in PVC o in alluminio zincato.



Figura 4.15 - Sfasamento dei giunti e alternanza dello sporto in corrispondenza degli angoli

Fonte: Immagine concessa dall'Arch. Giorgia Tonello

Per una posa a regola d'arte non devono presentarsi fughe con spessore superiore a 2 mm. Nel caso in cui fossero presenti devono essere tamponate con sfridi di materiale in quanto, il riempimento di queste con la malta comporterebbe una riduzione delle prestazioni finali.



Figura 4.16 - Fuga tra i pannelli con dimensione inferiore a 2 mm.

Fonte: Raccolta personale

In presenza di aperture, quali porte e finestre, il pannello deve sporgere rispetto al bordo “grezzo” del serramento, e una volta che il collante è solidificato, si procede con l’applicazione delle fasce, solitamente realizzate in altro materiale isolante. In seguito, l’eccesso dei pannelli viene rimosso.

Fissaggio con i tasselli

Conclusa la fase di posa e trascorse 72 ore dall’incollaggio (lasso temporale in cui la malta ha completato le azioni di presa e di indurimento), è possibile procedere con il fissaggio tramite tasselli, per contrastare le forze orizzontali (vento) che nel tempo possono incidere sull’isolamento a cappotto.

La tassellatura deve essere effettuata secondo le indicazioni della Norma Eurocodice relativa all’azione del vento EN 1991 - 1 - 4 “Azioni sulle strutture portanti - Parte 4 Azioni del vento”, delle Norme Tecniche per le Costruzioni del 2018 o in alternativa del manuale di “Progettazione della tassellatura” Cortexa.

La disposizione dei tasselli deve essere scelta con cura, seguendo una sequenza a “T”, il cui foro centrale avviene prima della posa, o con il sistema a “W”. Per entrambe le soluzioni, la testa dell’elemento di fissaggio deve essere coperta con il medesimo materiale, evitando la formazione di ponti termici.

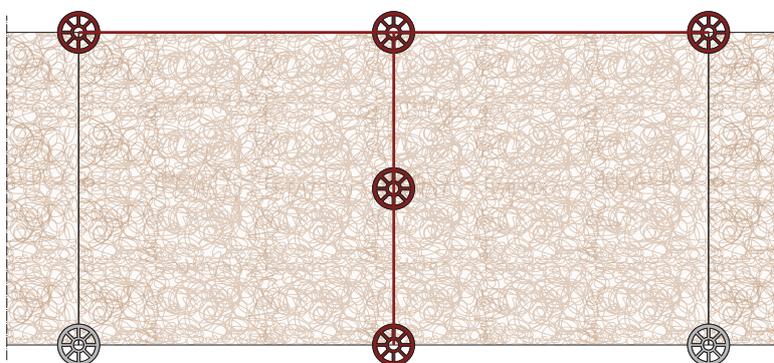


Figura 4.17 - Schema di fissaggio tramite tasselli a “T”
Fonte: Elaborazione personale dei disegni Calcecanapa® S.r.l

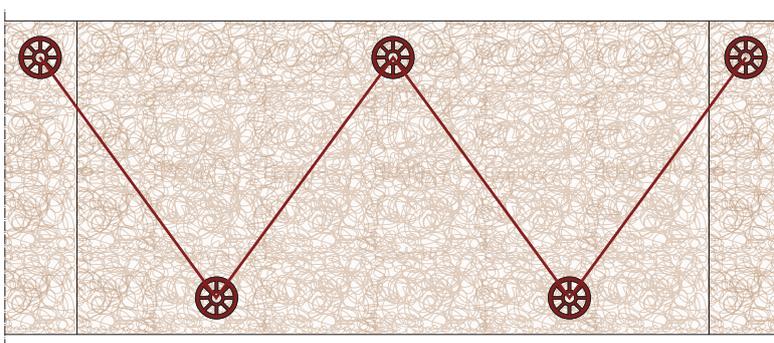


Figura 4.18 - Schema di fissaggio tramite tasselli a “W”
Fonte: Elaborazione personale dei disegni Calcecanapa® S.r.l

La lunghezza del tassello varia a seconda dello spessore del collante, dello spessore del pannello, della presenza di eventuali altri strati, della profondità minima di ancoraggio (contenuta nella scheda tecnica del tassello) e della tipologia di supporto. Devono comunque essere adeguatamente lunghi in modo tale da penetrare almeno 4 cm all'interno della muratura portante.

Stesura di intonaci e finiture

Conclusa la fase di fissaggio si procede con la posa dello strato di intonaco. In primis, con l'aiuto di una spatola liscia, viene realizzato l'aggrappo, con uno spessore massimo pari a 5 mm. In seguito, dopo averlo inumidito, con la spatola americana dentata viene posizionato il rinzaffo (spessore minimo 0,5 cm e massimo 1 cm) all'interno del quale è annegata la rete di armatura. Quest'ultima viene posata partendo dal basso e seguendo l'andamento verticale, e le parti adiacenti vengono sovrapposte di almeno 10 cm, evitando la formazione di pieghe.

Nelle 24 o 48 ore seguenti, una volta accertata l'asciugatura della rasatura dentata, si può procedere con la finitura, con spatola liscia, inumidendo il supporto per evitare la formazione di spaccature o di fessure.

A conclusione del sistema, può essere utilizzata una rasatura colorata o la pittura. Per entrambe i casi è richiesto l'utilizzo di un fissativo sull'intonaco.

Pannelli in fibra di canapa applicati "a umido"

Di seguito sono riassunte graficamente le fasi di realizzazione dell'isolamento a cappotto in pannelli in fibra di canapa applicati mediante incollaggio al supporto.

4.2.4 Caso Studio 02

Luogo: Balangero (TO) - Piemonte

Progettista: Studio Ricotta

Anno di ristrutturazione: 2022

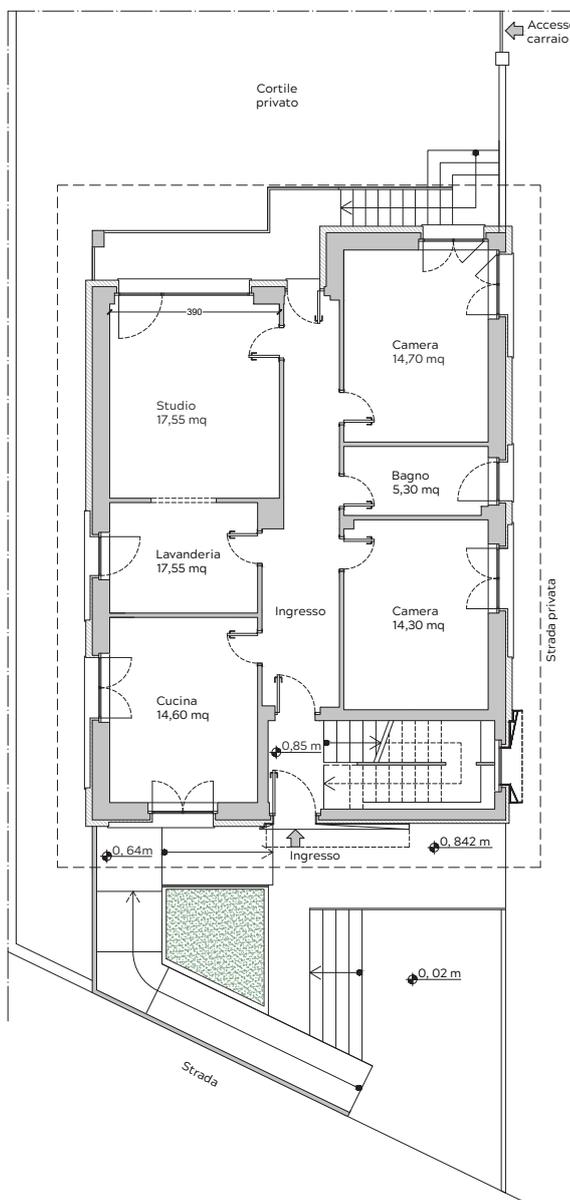
Tipologia edificio: residenziale

Sistema di isolamento a cappotto: pannelli in fibra di canapa ed EPS

Contesto: urbano

Zona climatica: F

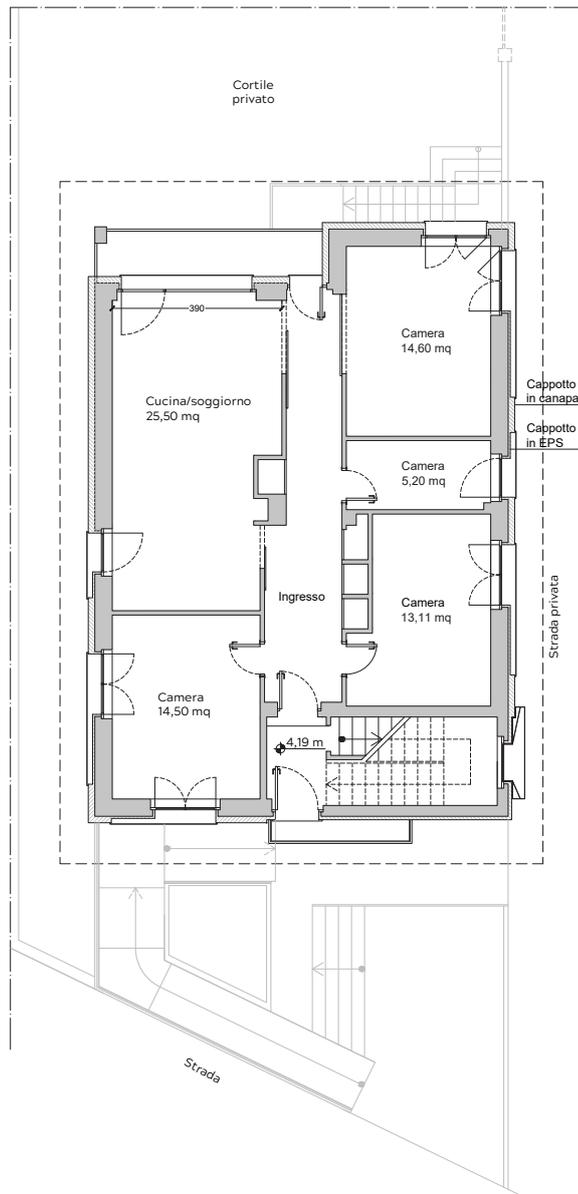
Committente: privato



Pianta Piano Terra

Fonte: Elaborazione personale del disegno concesso dallo Studio Ricotta





Pianta Piano Primo

Fonte: Elaborazione personale del disegno concesso dallo Studio Ricotta



Prospetto NORD

Fonte: Elaborazione personale del disegno concesso dallo Studio Ricotta



L'edificio in analisi si tratta di un fabbricato residenziale anni '60, di forma regolare, composto da un piano seminterrato utilizzato come garage e due nuclei abitativi collocati nel piano rialzato e al piano primo. La dimensione complessiva dell'intero fabbricato è circa 370 m².

Vista la possibilità, negli ultimi anni, di usufruire degli incentivi e detrazioni fiscali, i committenti hanno espresso la volontà di ristrutturare e riqualificare energeticamente l'immobile. L'intervento, essendo in un'area interessata da vincoli di tipo paesaggistico, è stato sottoposto all'approvazione della Soprintendenza.

I lavori di progettazione sono stati affidati dallo Studio Ricotta (con sede a Torino) che ha previsto le seguenti lavorazioni:

- la riconfigurazione dell'abitazione posta al piano primo
- incremento della superficie finestrata del lato SUD

Dal punto di vista energetico:

- sostituzione dei serramenti esistenti
- la realizzazione dell'isolamento a cappotto in fibra di canapa ed EPS
- isolamento dell'intradosso del solaio tra il piano seminterrato e il piano rialzato.
- installazione dei pannelli fotovoltaici
- installazione della pompa di calore

Nella realizzazione dell'isolamento a cappotto, sono stati impiegati i pannelli in fibra di canapa ed EPS che, dopo aver raggiunto il cantiere, sono stati applicati mediante incollaggio alla muratura esistente a cassa vuota (spessore 40 cm).



Figura 4.19 - Da sinistra: l'edificio pre-intervento e muratura a cassavuota
Fonte: Immagini concesse dall'Arch. Giorgia Tonello e raccolta personale



Figura 4.20 - Da sinistra: accostamento tra pannelli in fibra di canapa e in EPS e innesto con il davanzale

Fonte: Immagini concesse dall'Arch. Giorgia Tonello e raccolta personale

A seguire, sui due materiali isolanti sono poi stati applicati due differenti intonaci e, a conclusione del pacchetto, verranno utilizzate delle finiture pigmentate.



Figura 4.21 - Da sinistra: Rasatura dei pannelli in fibra di canapa ed EPS

Fonte: Immagini concesse dall'Arch. Giorgia Tonello e raccolta personale

L'accostamento dei due materiali, uno di origine naturale e l'altro polimerico, è frutto di una serie di studi, decisioni e volontà. In particolare i committenti, per la loro vicinanza alla sostenibilità, erano interessati all'impiego di materiali isolanti derivanti da risorse rinnovabili. Questo però ha purtroppo un limite: l'isolamento dell'intero edificio con i pannelli in fibra di

canapa avrebbe comportato dei costi considerevoli.

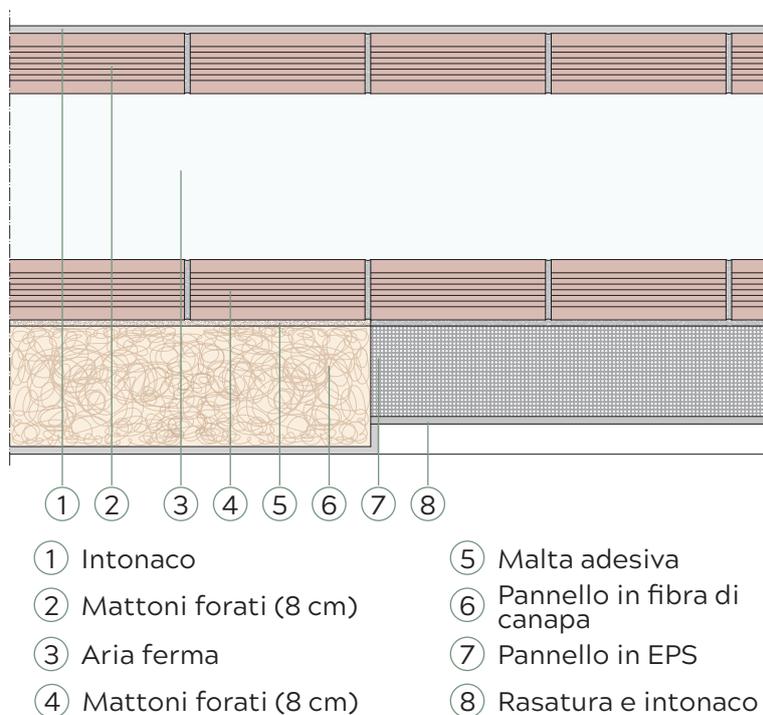
Nello specifico, gli interventi relativi al Superbonus 110%, richiedono il raggiungimento di determinati valori di trasmittanza termica, in questo caso, essendo l'edificio collocato in Zona Climatica F, il valore limite di questo parametro è pari a $0,220 \text{ W/m}^2\text{K}$. L'impiego dei pannelli in fibra di canapa di spessore 16 cm e dei pannelli in EPS di spessore 12 cm permette il raggiungimento di valori simili.

Inoltre, essendo la struttura piuttosto lineare, monotona e parallelepipedica, i progettisti hanno preso in considerazione l'opportunità di migliorarne l'aspetto, creando in facciata degli sfondati e dei giochi di luci, ombre e movimenti, in particolare in corrispondenza delle finestre. Tutto questo è reso possibile grazie alla differenza dello spessore dei due materiali isolanti e della scelta di utilizzare dei davanzali con luci importanti.

È interessante valutare quanto sia effettivamente il miglioramento della trasmittanza termica dopo la riqualificazione energetica. Essendo la muratura portante a cassa vuota, intonacata sia in interno che in esterno, il valore di U prima dell'intervento era circa $1,261 \text{ W/m}^2\text{K}$. A seguito delle operazioni di efficientamento energetico, i valori di trasmittanza termica rientrano nel valore limite, infatti nel caso dell'uso di pannelli in fibra di canapa la U calcolata è $0,202 \text{ W/m}^2\text{K}$ mentre, laddove siano stati impiegati i pannelli in EPS è pari a $0,205 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Stratigrafia della parete dopo l'intervento di efficientamento
Fonte: Elaborazione personale della stratigrafia fornita dallo Studio Ricotta

0 10 20 50 cm



4.3 - Cappotto in canapa: posa in opera “a secco”

Quando si parla di sistemi realizzati “a secco” si fa riferimento a quelle composizioni tecnologhe che non implicano l'utilizzo di risorse idriche nel processo di assemblaggio o l'uso di malte e collanti che, dopo la fase di posa, necessitano di tempo per consolidarsi.

Questa tecnica costruttiva è in realtà molto antica, infatti non vi è cultura al mondo che non l'abbia utilizzata. A testimonianza si pensi ai nuraghi in Sardegna o alle prime palafitte in legno.

Recentemente, sebbene in Italia sia maggiormente diffusa la posa “a umido”, l'uso di questo sistema, sta acquisendo grande importanza grazie ai numerosi vantaggi che ne trae. In primo luogo, permette di prevedere precisamente le tempistiche delle varie fasi di lavoro, limitandone i tempi morti (ad esempio l'asciugatura e il consolidamento). Inoltre, sono favorite le operazioni di disassemblaggio, riducendone l'impatto nel fine vita e semplificando le operazioni di manutenzione.

Tra i prodotti per l'isolamento in canapa che vedono impiego utilizzando un sistema “a secco” individuiamo i pannelli in fibra che, anziché essere applicati mediante incollaggio, vengono posizionati tra montanti di supporto, in legno o in metallo.

4.3.1 - I pannelli in fibra di canapa

L'isolamento a cappotto in pannelli in fibra di può essere realizzato anche mediante la posa in opera “a secco” e si articola in: preparazione del supporto e montaggio dei profili e del telaio, posa dei pannelli e delle lastre e stesura degli strati di finitura.

Preparazione del supporto e montaggio dei profili e del telaio

Analogamente alla posa in opera dei pannelli “a umido” è necessaria una prima valutazione delle condizioni del supporto, per procedere poi con la realizzazione del basamento e il montaggio dei profili metallici o lignei che costituiscono l'orditura di partenza.

Qualora la struttura sia costituita da elementi metallici, vengono montate le guide lungo il perimetro della parete e fissate con chiodi o tasselli. Tra il supporto e il profilo, devono essere interposte delle guarnizioni in polietilene espanso, a cellula chiusa (con densità pari a 30 kg/m³). All'interno delle guide metalliche vengono poi incastrati i montanti con profili a “C” e fissati meccanicamente al supporto.

Nel caso in cui il telaio di sostegno sia realizzato in legno, non è richiesto l'utilizzo delle guarnizioni e i montanti in legno vengono direttamente fissati alla parete mediante profili ad "L".

L'interasse tra i montanti è variabile in base alle dimensioni del pannello di chiusura. Nel caso dell'Edilcanapa[®] S.r.l., ad esempio, utilizzando dei pannelli in canapulo e calce di dimensioni pari a 120 x 100 cm (spessore da 2 a 5 mm), ne consegue che la distanza sia pari a 60 cm.

Se la parete è in condizione di non complanarità, allora vengono utilizzati dei distanziatori per permettere il fissaggio dei montanti, e nell'intercapedine creatasi, è possibile il passaggio degli impianti, già accuratamente definiti in partenza.

Posa dei pannelli e delle lastre

Essendo in questo caso i pannelli in fibra di canapa protetti da lastre rigide, la loro densità può essere anche inferiore agli 80 kg/m³. La posa, anche in questo caso ha inizio dal basso per poi proseguire in elevato e avviene mediante l'inserimento del pannello tra i montanti, in stretta aderenza l'un l'altro, evitando la formazione di interstizi.

Successivamente, vengono posizionate le lastre di chiusura in calce e canapulo o in legno, fissandole ai telai con apposite viti e, sui loro bordi, per conferire continuità al freno a vapore viene utilizzato del silicone per sigillare i giunti.

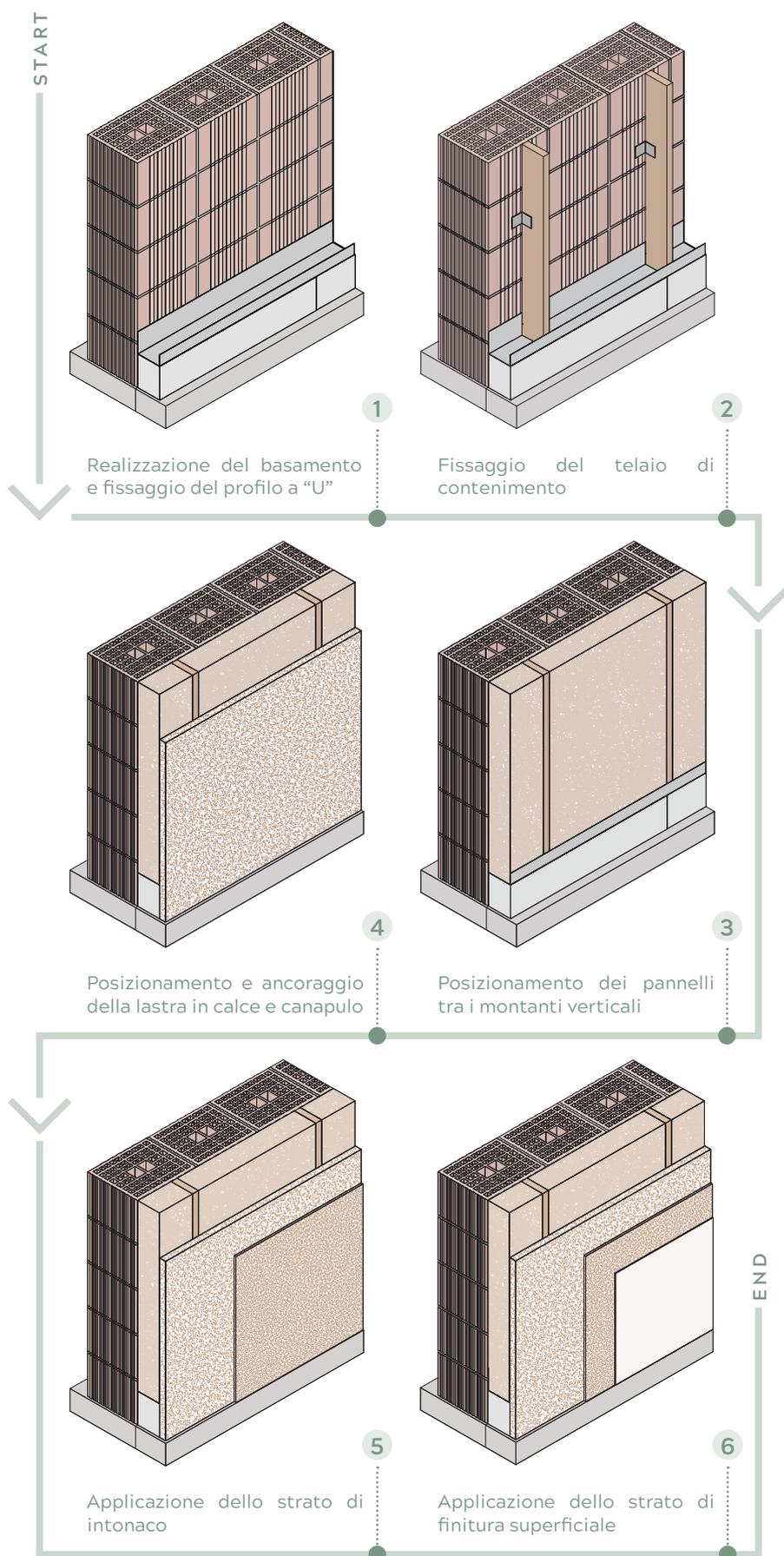
Se necessaria la realizzazione di impianti, le lastre possono essere tagliate con una sega a tazza, facendo però attenzione a non recidere e danneggiare i pannelli isolanti sottostanti.

Stesura di intonaci e finiture

Le operazioni di finitura sono le medesime citate per i pannelli posati con il sistema "a umido" costituite dalla realizzazione di uno strato di aggrappo, di rinzafo all'interno del quale viene affogata la rete di armatura, uno strato di finitura liscia e a conclusione una rasatura colorata.

Pannelli in fibra di canapa applicati "a secco"

Di seguito sono riassunte graficamente le fasi di realizzazione dell'isolamento a cappotto in pannelli in fibra di canapa applicati "a secco" con struttura lignea.



4.4 - Condizioni di posa

Particolare attenzione deve essere posta alle condizioni ambientali in fase di posa. La temperatura non deve essere inferiore a 5°C (nel periodo invernale) e non superiore ai 30°C nel periodo estivo.

È bene evitare le applicazioni in situazioni di vento forte, esposizione all'irraggiamento del sole diretta, nebbia, elevata umidità e pioggia, in quanto in grado di compromettere la presa, l'asciugatura e le prestazioni finali del pacchetto isolante.

4.5 - Stoccaggio dei materiali

Lo stoccaggio dei materiali necessari alla realizzazione dell'isolamento a cappotto in calce e canapulo o in fibra di canapa, deve rispettare in modo rigoroso tutte le accortezze riportate nelle rispettive schede tecniche. I prodotti se danneggiati, esposti ad intemperie, ad irraggiamento solare e umidità, potrebbero non rivelarsi idonei e, di conseguenza, non garantire le prestazioni richieste.

E' consigliato conservare i componenti in luoghi coperti, in modo tale che non entrino a diretto contatto con l'umidità dell'ambiente esterno o direttamente con l'acqua. Di per sé i pannelli, essendo privi di scadenza, se correttamente stoccati, possono essere utilizzati anche a distanza di alcuni anni.

In modo contrario, l'uso dei premiscelati, non deve essere successivo al limite indicato sull'imballaggio.



CAPITOLO 05

SISTEMI A
CONFRONTO

5.1 - Definizione dei Prototipi

In questa sezione verrà fornito un confronto multicriteria con l'obiettivo di individuare le principali differenze tra le tre soluzioni di isolamento a cappotto analizzate nei capitoli precedenti.

La comparazione è stata effettuata considerando una parete esistente realizzata con blocchi in laterizio (25 x 30 x 19 cm), e rivestita internamente da uno strato di intonaco tradizionale (1,2 cm). In ottica di riqualificazione energetica è stato applicato, sull'involucro esterno l'isolamento a cappotto, impiegando differenti tecnologie e prodotti in canapa.

Il punto di partenza per il confronto è stata la volontà di raggiungere le medesime prestazioni termiche, in materia di trasmittanza, fissando il valore di "U" a 0,183 W/m²K.

Essendo per questo studio scelta la zona climatica E, la trasmittanza termica a riferimento, risulta inferiore al limite previsto (0,280 W/mK).

In relazione ai casi due studio analizzati nel Capitolo 04, per l'isolamento dei tre Prototipi progettati, sono state scelte le medesime tecnologie e i prodotti di due grandi aziende presenti sul mercato italiano:

- Calcecanapa[®] S.r.l (caso studio 01), per l'impiego della miscela in calce e canapulo



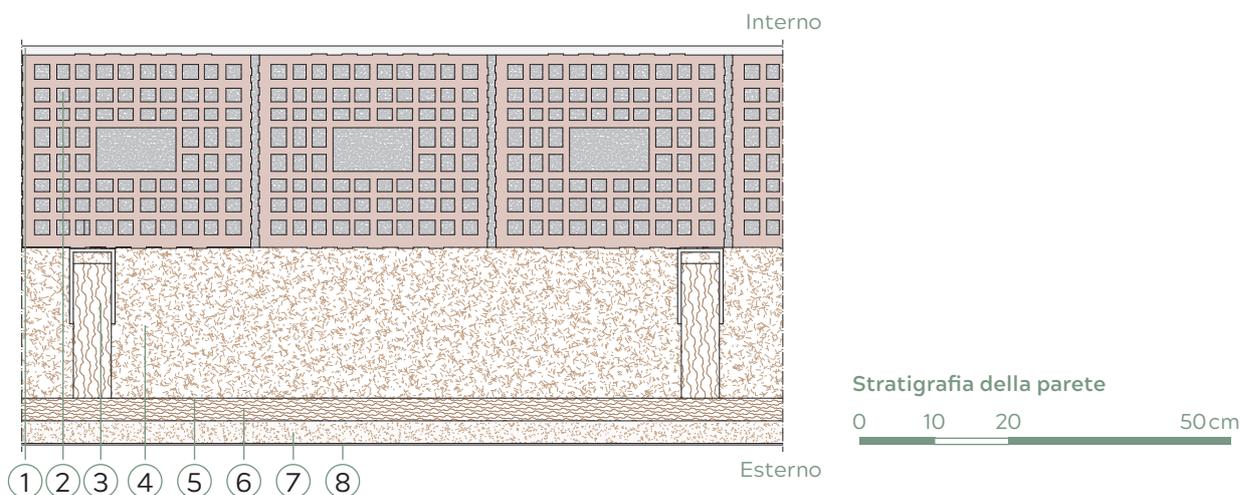
- Edilcanapa[®] S.r.l (caso studio 02), nel caso di utilizzo dei pannelli in fibra di canapa, sia con applicazione mediante incollaggio ("a umido"), che con il sistema "a secco".



Dopo aver definito i materiali e le tecnologie, con l'ausilio del software TERMLOG, una serie di simulazioni, hanno portato a definire le stratigrafie e gli spessori necessari per il raggiungimento del valore di U fissato in partenza (0,183 W/m²K). La completezza e la correttezza dei modelli è stata sottoposta a verifica da parte delle aziende coinvolte.

Di seguito, sono illustrate le stratigrafie finali del Prototipo 01, del Prototipo 02 e del Prototipo 03, alle quali sono associate le simulazioni di calcolo delle rispettive trasmittanze termiche.

Prototipo 01 - Isolamento a cappotto con getto in calce e canapulo



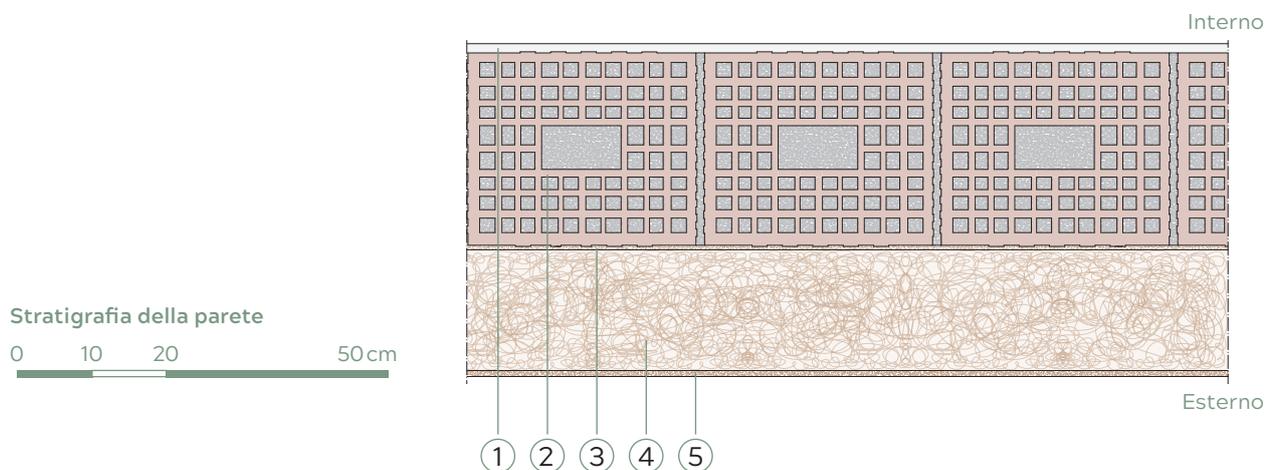
- | | |
|---------------------------------|--|
| ① Intonaco esistente | ⑤ Rete di contenimento |
| ② Muratura esistente | ⑥ Listelli in legno alternati (5 x 3 cm) |
| ③ Montante in legno (18 x 5 cm) | ⑦ Intonaco termico |
| ④ Getto in calce e canapulo | ⑧ Finitura |

Strati	Spessore (cm)	Resistenza T. (m ² K/W)	Conducibilità T. (W/m ² K)	Densità (kg/m ³)
Adduttanza interna	-	0,130	7,690	-
Intonaco	1,2	0,030	0,400	1200
Blocchi in laterizio	25,0	1,116	0,224	870
Getto in calce e canapulo	20,0	3,509	0,057	240
Listelli e intonaco termico ⁸⁸	3,0	0,291	0,103	425
Intonaco termico	3,0	0,353	0,085	400
Finitura	0,2	0,010	0,195	1100
Adduttanza esterna	-	0,040	25,00	-
Trasmittanza termica (W/m²K)		0,183		
Spessore (cm)		52,40		

88. Essendo i listelli in abete alternati all'intonaco termico con un interasse costante, per la determinazione della trasmittanza termica della parete è stata effettuata una media tra il valore di conducibilità termica dei listelli pari a 0,120 W/mK e quello dell'intonaco termico di 0,085 W/mK. Analogamente, lo stesso calcolo è stato svolto per la densità.

Tabella 5.01 - Simulazione di calcolo della trasmittanza termica del Prototipo 01
Fonte: Elaborazione personale dal software TERMOLOG

Prototipo 02 - Isolamento a cappotto in pannelli in fibra di canapa "a umido"

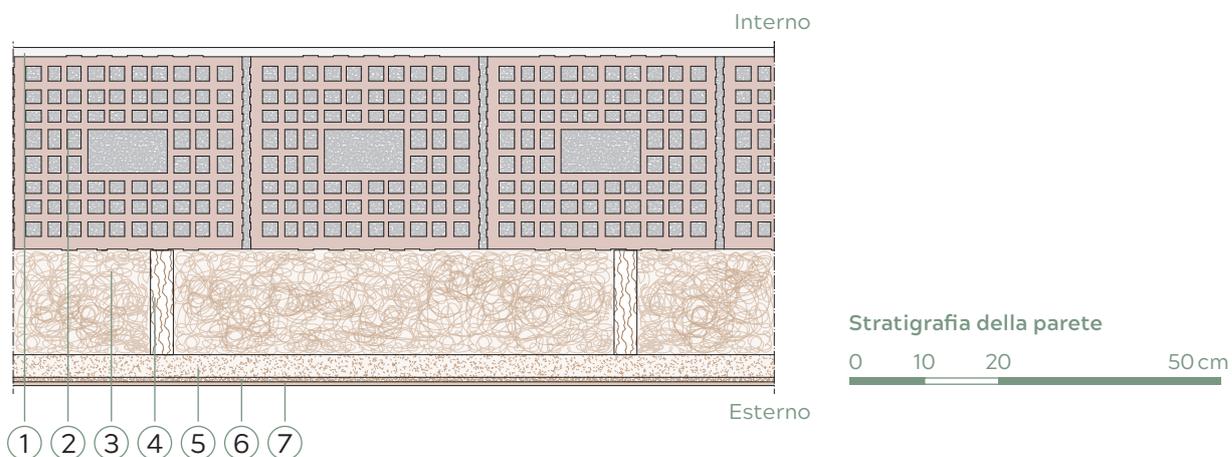


- ① Intonaco esistente
- ② Muratura esistente
- ③ Malta
- ④ Pannelli in fibra di canapa (110 x 60 cm)
- ⑤ Intonaco di finitura

Strati	Spessore (cm)	Resistenza T. (m ² K/W)	Conducibilità T. (W/m ² K)	Densità (kg/m ³)
Adduttanza interna	-	0,130	7,690	-
Intonaco interno	1,2	0,030	0,400	1200
Blocchi in laterizio	25,0	1,116	0,224	870
Malta	0,6	0,012	0,500	1160
Pannello in fibra di canapa	16,0	4,103	0,039	100
Intonaco di finitura	0,9	0,045	0,200	1125
Adduttanza esterna	-	0,040	25,00	-
Trasmittanza termica (W/m²K)		0,183		
Spessore (cm)		43,70		

Tabella 5.02 - Simulazione di calcolo della trasmittanza termica del Prototipo 02
Fonte: Elaborazione personale dal software TERMOLOG

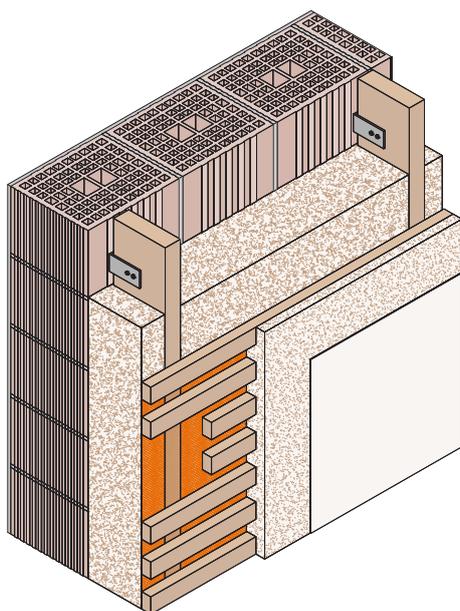
Prototipo 03 - Isolamento a cappotto in pannelli in fibra di canapa "a secco"



- ① Intonaco esistente
- ② Muratura esistente
- ③ Pannello in fibra di canapa (110 x 60 cm)
- ④ Montante in legno (14 x 3 cm)
- ⑤ Lastra in calce e canapulo
- ⑥ Intonaco di finitura
- ⑦ Rasatura

Strati	Spessore (cm)	Resistenza T. (m ² K/W)	Conducibilità T. (W/m ² K)	Densità (kg/m ³)
Adduttanza interna	-	0,130	7,690	-
Intonaco interno	1,2	0,030	0,400	1200
Blocchi in laterizio	25,0	1,116	0,224	870
Pannello in fibra di canapa	14,0	3,590	0,039	35
Lastra in calce e canapulo	3,0	0,476	0,063	275
Intonaco di finitura	0,6	0,030	0,200	1125
Rasatura	0,5	0,038	0,130	950
Adduttanza esterna	-	0,040	25,00	-
Trasmittanza termica (W/m²K)		0,183		
Spessore (cm)		44,30		

Tabella 5.03 - Simulazione di calcolo della trasmittanza termica del Prototipo 03
Fonte: Elaborazione personale dal software TERMOLOG

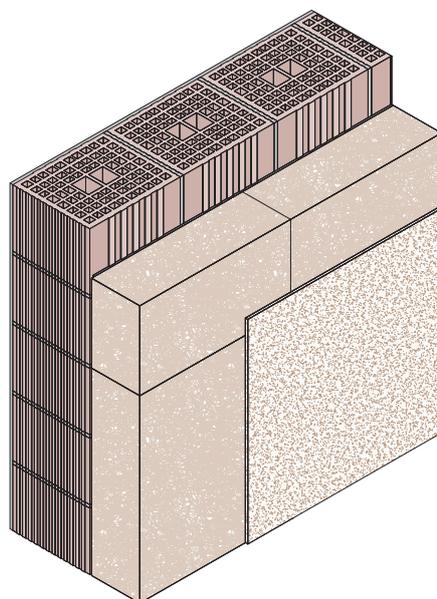


Prototipo 01

Rappresentazione assonometrica del Prototipo 01

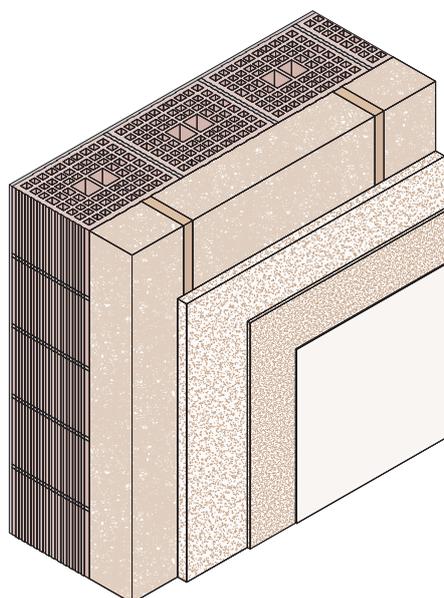
Prototipo 02

Rappresentazione assonometrica del Prototipo 02



Prototipo 03

Rappresentazione assonometrica del Prototipo 03



5.2 - Parametri di confronto

Dopo aver definito la composizione stratigrafica dei modelli, sono stati individuati i parametri più rilevanti per la comparazione dei tre sistemi: ad ognuno è dedicata una sezione specifica all'interno della quale, dopo una breve introduzione, sono pubblicati i risultati ottenuti o stimati.

Caratteristiche come la trasmittanza termica, la massa frontale, lo sfasamento termico e lo spessore sono state determinate con il software TERMOLOG. Altre informazioni come la posa in opera, gli sfridi di lavorazione, il consumo di acqua, il fine vita e i costi, sono stati valutati e calcolati grazie al supporto delle schede tecniche, dei professionisti, dei manuali di posa e dei listini prezzi.

Le considerazioni finali forniscono, mediante schemi riassuntivi, una visione complessiva di quanto emerso nel presente capitolo.

5.2.1 - Inerzia termica

Nella fase di progettazione, oltre ad adeguati livelli di trasmittanza termica, all'involucro esterno si richiedono anche buone caratteristiche di inerzia termica, tali da migliorare le condizioni interne, riducendo la necessità di climatizzazione e contribuendo al risparmio energetico.

Questo parametro agisce mediante lo sfasamento temporale e lo smorzamento dell'ampiezza dell'onda termica, descritti e oggetto di confronto nei punti seguenti.

Sfasamento termico

Per sfasamento dell'onda termica si intende la differenza temporale (espressa in ore) tra l'ora in cui si ha la temperatura massima sulla superficie esterna e l'ora in cui si verifica il picco su quella interna. È fondamentale che sia compreso tra le 8 e le 10 ore, con un valore ottimale di 12 ore. In questo modo, nei periodi più caldi, il calore che è accumulato nelle pareti viene gradualmente rilasciato negli spazi interni, con un ritardo che permette lo slittamento nel tempo del picco di calore. Più il valore di sfasamento termico è alto, migliore sarà la performance energetica dell'immobile e, per incrementarlo, è necessario valutare con cura i materiali che costituiscono l'involucro⁸⁹.

Dall'analisi relativa ai modelli di isolamento a cappotto progettati, il software TERMOLOG ci fornisce i dati di sfasamento, relativi al mese di luglio (mese di massima insolazione), che riportano valori differenti a seconda del sistema.

Trattando la parete isolata con la miscela di calce e canapulo,

89. Fonte: www.ediltec.it, consultato il 15/12/2022

lo sfasamento temporale è 25 h e 55' (Grafico 5.01); per quanto riguarda l'uso dei pannelli in fibra di canapa con applicazione "a umido", è 16 h 29' (Grafico 5.02); infine, con l'impiego del sistema "a secco" è pari a 15 h e 28' (Grafico 5.03)

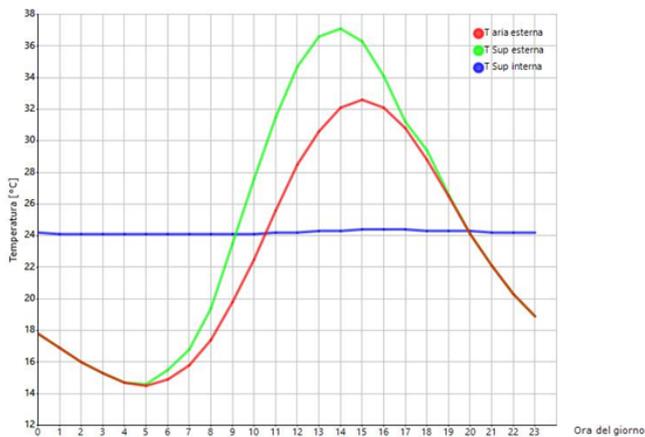


Grafico 5.01 - Diagramma di sfasamento dell'onda termica del Prototipo 01
Fonte: Relazione finale di TERMOLOG

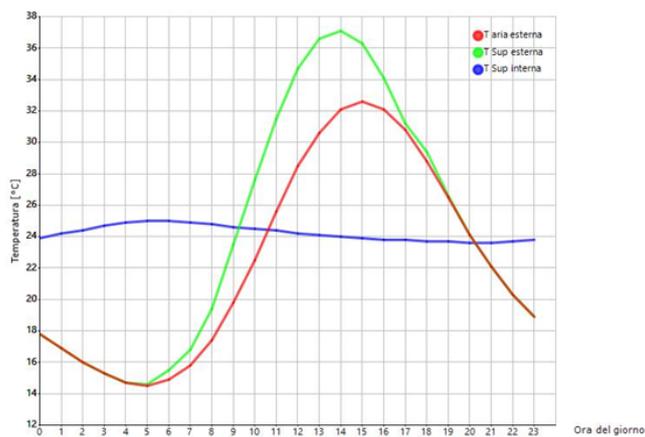


Grafico 5.02 - Diagramma di sfasamento dell'onda termica del Prototipo 02
Fonte: Relazione finale di TERMOLOG

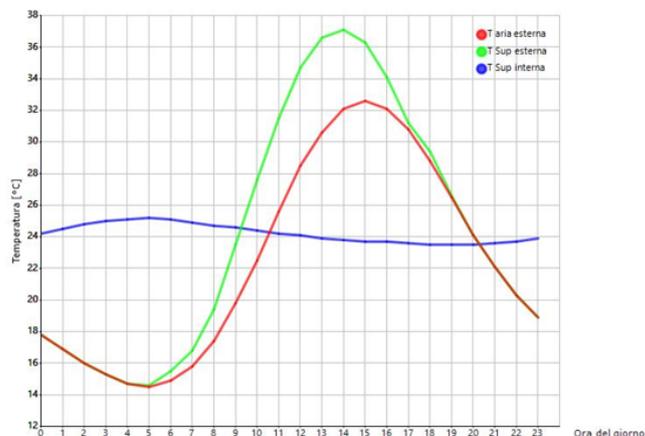


Grafico 5.03 - Diagramma di sfasamento dell'onda termica del Prototipo 03
Fonte: Relazione finale di TERMOLOG

Conclusioni

Sulla base di quanto riportato nei grafici, data un'escursione termica dell'ambiente esterno di 18,1°C ($T_{\max} = 32,6^{\circ}\text{C}$ e $T_{\min} = 14,5^{\circ}\text{C}$), la temperatura superficiale interna rimane pressoché costante.

In particolare, la parete isolata con il getto in calce e canapulo, essendo i valori di sfasamento piuttosto considerevoli (25 h 55'), nel breve periodo, l'ambiente interno è quasi insensibile a quello esterno. Possiamo notare infatti, come l'andamento della temperatura superficiale interna, sia più regolare rispetto agli altri due casi.

L'impiego dei pannelli in fibra di canapa, sia con sistema "a umido" che "a secco", fa sì che il loro comportamento sia simile, ma con la differenza che il picco di calore del secondo avviene circa un'ora prima rispetto al primo.

Infine, nonostante vi sia una forte discrepanza tra l'utilizzo dei due materiali (miscela e pannelli), i tre i prototipi si dimostrano efficienti sotto questo aspetto: infatti, lo sfasamento temporale è superiore alle 12 ore.

Fattore di attenuazione

Per comprendere gli effetti positivi dell'inerzia termica, oltre allo sfasamento, ha grande rilevanza il fattore di attenuazione (Fa), che rappresenta il rapporto tra la variazione della temperatura esterna e il flusso di calore da somministrare internamente per mantenere la temperatura costante⁹⁰. I valori sono considerati ottimali quando inferiori a 0,15 e, affinché siano garantite prestazioni mediocri, non devono superare la soglia dello 0,60.

90. Fonte: www.ediltec.it, consultato il 15/12/2022

Sfasamento (h)	Attenuazione	Prestazioni	Qualità prestazionale
$S > 12$	$Fa < 0,15$	Ottime	I
$12 > S > 10$	$0,15 < Fa < 0,30$	Buone	II
$10 > S > 8$	$0,30 < Fa < 0,40$	Medie	III
$8 > S > 6$	$0,40 < Fa < 0,60$	Sufficienti	IV
$6 > S$	$0,60 < Fa$	Mediocri	V

Tabella 5.04 - Valori di riferimento di sfasamento e attenuazione

Fonte: www.ediltec.it, consultato il 15/12/2022

Dall'analisi effettuata, il software TERMOLOG riporta:

- per la soluzione in calce e canapulo (Prototipo 01), il fattore di attenuazione (Fa) è 0,0126
- per la soluzione in pannelli in fibra di canapa "a umido"

(Prototipo 02) $F_a = 0,0613$

- per la soluzione in pannelli applicati “a secco” (Prototipo 03) $F_a = 0,0744$

Conclusioni

E' chiaro che la soluzione ottimale dal punto di vista dell'inerzia termica sia l'uso del getto in calce e canapulo che, oltre ad avere valori di sfasamento termico notevoli, il fattore di attenuazione è inferiore (0,0126) rispetto agli altri due casi. Nonostante ciò, anche la scelta dei pannelli in fibra di canapa, sia “a secco” che “a umido”, è vantaggiosa, riscontrando un F_a maggiore nell'applicazione “a secco”.

I tre sistemi rientrano quindi nella qualità prestazionale I: entrambe i parametri sono inferiori al valore massimo concesso relativo alla migliore classe di qualità (I).

Prototipo	Sfasamento (h)	Attenuazione	Prestazioni	Qualità prestazionale
01	25 h 55'	0,0126	Ottime	I
02	16 h 29'	0,0613	Ottime	I
03	15 h 28'	0,0744	Ottime	I

Tabella 5.05 - Tabella riassuntiva dei valori di sfasamento relazionati a quelli di attenuazione dei tre Prototipi

5.2.2 - Massa superficiale

La massa superficiale “ M_s ” (kg/m^2), ovvero il peso proprio della parete, ha un ruolo chiave nelle fasi di progettazione e di scelta delle tecnologie e materiali da applicare.

L'isolamento a cappotto, rappresenta un peso aggiuntivo che grava direttamente sulla struttura portante dell'edificio e ne condiziona fortemente il comportamento statico. Questo aspetto può risultare vincolante in ottica di riqualificazione, rendendo necessarie delle verifiche specifiche che possano accertare che l'esistente sia effettivamente in grado di sopportare il peso e garantire la stabilità.

Dal punto di vista operativo, la posa di materiali isolanti molto pesanti può rivelarsi complessa, sia nelle fasi di trasporto, che nelle operazioni di posa in opera.

Focalizzando l'attenzione sui prototipi progettati, sono state calcolate le rispettive masse superficiali pari a:

- $290 \text{ kg}/\text{m}^2$ per la parete isolata con la miscela in calce e canapulo
- $265 \text{ kg}/\text{m}^2$ per la parete isolata con i pannelli in fibra di canapa

“a umido”

- 261 kg/m² per la parete isolata con i pannelli in fibra di canapa applicati “a secco”

	Prototipo 01	Prototipo 02	Prototipo 03
Massa Superficiale (kg/m ²)	290	265	261
Spessore (cm)	52,40	43,70	44,30
Trasmittanza termica (W/m ² K)	0,183	0,183	0,183

Tabella 5.06 - Tabella riassuntiva delle masse superficiale dei tre Prototipi

Conclusioni

I risultati ottenuti dimostrano come, a parità di trasmittanza termica, l'utilizzo del conglomerato in calce e canapulo, abbia un peso per metro quadro superiore rispetto agli altri due casi, questo dovuto allo spessore che richiede il getto per raggiungere le prestazioni fissate in partenza.

La scelta ottimale rispetto a questo parametro, è l'impiego del sistema a pannelli “a secco”, infatti, come in precedenza riportato, il suo peso (al m²) è inferiore di circa 30 kg rispetto alla soluzione più critica, con poca differenza (3 kg) dall'applicazione “a umido”.

In conclusione, i tre valori, essendo superiori ai 230 kg/m², fanno sì che i modelli siano classificati come pareti pesanti⁹¹.

91. Fonte: www.ediltec.it, consultato il 15/12/2022

5.2.3 - Spessore

Lo spessore finale dell'involucro esterno è un fattore determinante in quanto può condizionare le prestazioni e il comfort interno e, a seconda delle situazioni, può rivelarsi un vantaggio o uno svantaggio.

Dal punto di vista strutturale, questo aspetto influenza la resistenza statica della parete, infatti, uno spessore maggiore garantirà resistenza e solidità in presenza di sollecitazioni come il vento, i sismi e in generale agli urti. Al tempo stesso però, la struttura portante e il telaio di sostegno dovranno essere in grado di sopportare carichi elevati.

In fase di progettazione e di scelta dei materiali, è fondamentale l'analisi dello spazio a disposizione dell'intervento. Infatti, alcune tipologie di isolanti richiedono spessori considerevoli per soddisfare i requisiti e, qualora vi siano vincoli dimensionali, le scelte dovranno ricadere su materiali che abbiano dimensioni contenute ma, che al tempo stesso sia performanti.

Analizzando i prototipi emerge che gli spessori finali delle pareti siano rispettivamente:

- 52,40 cm per il Prototipo 01
- 43,70 cm per il Prototipo 02
- 44,30 cm per il Prototipo 03.

Materiale	Spessore (cm)
Intonaco interno	1,20
Blocchi in laterizio	25,00
Getto in calce e canapulo	20,00
Listelli di abete alternati	3,00
Intonaco termico	3,00
Finitura	0,20
TOTALE	52,40

Tabella 5.07 - Tabella riassuntiva degli spessori relativi al Prototipo 01

Materiale	Spessore (cm)
Intonaco interno	1,20
Blocchi in laterizio	25,00
Malta collante	0,60
Pannello in fibra di canapa	16,00
Intonaco di finitura	0,90
TOTALE	43,70

Tabella 5.08 - Tabella riassuntiva degli spessori relativi al Prototipo 02

Materiale	Spessore (cm)
Intonaco interno	1,20
Blocchi in laterizio	25,00
Pannello in fibra di canapa	14,00
Lastra in calce e canapulo	3,00
Intonaco di finitura	0,60
Rasatura	0,50
TOTALE	44,30

Tabella 5.09 - Tabella riassuntiva degli spessori relativi al Prototipo 03

Conclusioni

Possiamo notare come il sistema in calce e canapulo costituisca uno spessore maggiore rispetto all'impiego dei pannelli. Questa differenza così evidente, è relazionata ai valori di conducibilità termica dei due materiali isolanti, pari a 0,057 W/mK per la miscela in calce e canapulo e 0,039 W/mK per i pannelli.

L'isolamento a cappotto in pannelli "a umido" o "a secco", invece, in materia di spessore, presenta una differenza trascurabile.

5.2.4 - Consumo di acqua

Il settore edilizio è tra i settori che richiedono le maggiori quantità di acqua per la preparazione e la lavorazione degli impasti e, vista la scarsità degli ultimi anni dovuta ai sempre più frequenti fenomeni di siccità, sarebbe bene utilizzare tecnologie a consumo idrico limitato. Per questo, tra i parametri selezionati per il confronto, è stato individuato il consumo di acqua.

Al fine di capire quanto effettivamente sia la richiesta idrica dei modelli di isolamento a cappotto, sono stati individuati, per ogni strato, i costituenti e le rispettive proporzioni teoriche utilizzate nello studio.

Si precisa che nell'analisi sono stati considerati solamente i consumi idrici relativi alla preparazione degli impasti, escludendo quelli derivanti dalla produzione delle materie prime.

Prototipo 01

La progettazione del Prototipo 01, ha ipotizzato l'uso dei prodotti dell'azienda Calcecanapa® S.r.l.

Il getto in canapulo e calce⁹², solitamente fornito in big bags da 350 kg (resa 0,9 m³), si ottiene dalla miscelazione di 154,8 kg di grassello di calce magnesico con il 115,0 kg canapulo mineralizzato e 80 l di acqua. Dovendo colmare un volume di 0,179 m³, per la produzione del bio-composito, sono necessari:

- 30,79 kg di grassello di calce magnesico
- 22,87 kg di canapulo mineralizzato
- 15,91 l di acqua

L'intonaco termico⁹³, fornito in KIT, è costituito rispettivamente da 75 kg di legante aereo magnesico, 31,5 kg di canapulo mineralizzato e 17,5 kg di legante idraulico. Inoltre, sono richiesti 37 l di acqua per la lavorazione del materiale. Per il completamento di 1 m² di termointonaco, il cui spessore medio è 4,5 cm (resa 0,21 m³/KIT) le rispettive quantità da utilizzare sono:

- 16,07 kg di legante aereo magnesico
- 6,75 kg di canapulo mineralizzato

92. ANGELOZZI 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)*, Tesi di Laurea, Università di Bologna, Facoltà di Ingegneria Edile - Architettura, 2019/2020. Relatore: Elisa Franzoni.

93. Scheda tecnica TERMOINTONACO, Calcecanapa® S.r.l.

- 3,75 kg di legante idraulico
- 7,93 l di acqua

94. Scheda tecnica FINITURA, Calce-canapa® S.r.l.

Infine, a chiusura del pacchetto isolante è prevista la stesura di 0,2 cm di finitura⁹⁴ dove, per 20 kg di materiale, devono essere aggiunti 9 l di acqua. La resa teorica del KIT (per ogni millimetro), è 0,950 kg/m² e di conseguenza, devono essere miscelati:

- 1,90 kg di finitura
- 0,85 kg di acqua

Prototipo 02

Nella progettazione del secondo modello, è stato ipotizzato l'utilizzo dei prodotti dell'azienda Edilcanapa® S.r.l, tra questi la malta adesiva, i pannelli in fibra di canapa e l'intonaco di finitura (CANAPAMIX 3).

95. Scheda tecnica CANACOLL, Edilcanapa® S.r.l

Per quanto riguarda la malta collante⁹⁵, acquistabile in sacchi da 25 kg, la scheda tecnica consiglia l'aggiunta di 17,5 l di acqua (la resa teorica per un centimetro è 11,60 kg/m²). Dovendo realizzare uno strato di 0,6 cm (superficie di incollaggio 80%), per la preparazione sono richiesti:

- 5,56 kg di malta adesiva
- 3,90 l di acqua (70% del peso della malta)

96. Scheda tecnica CANAPAMIX 3, Edilcanapa® S.r.l

In seguito all'incollaggio e al fissaggio dei pannelli, viene steso uno strato di intonaco premiscelato naturale di finitura⁹⁶, disponibile in sacchi da 25 kg, miscelati poi con l'80% di acqua. Sapendo che la resa teorica, per centimetro di spessore, è 11,25 kg/m² e il modello ne prevede 0,9 cm, per la sua produzione in cantiere sono necessari:

- 10,12 kg di intonaco premiscelato naturale
- 8,10 l di acqua (80% del peso dell'intonaco)

Prototipo 03

Anche per il Prototipo 03 sono stati scelti i materiali di Edilcanapa® S.r.l., tra cui i pannelli in fibra di canapa (CANAPANNELE 35), la lastra in calce e canapulo (SALUBERPAN), l'intonaco di finitura (CANAPAMIX 3) e uno strato di rasatura (CANAPASTUCK).

L'intonaco di finitura, è il medesimo del precedente caso, il quale però, per il raggiungimento delle prestazioni termiche richieste, è stato applicato in uno spessore di 0,6 cm. Quindi, per la sua realizzazione devono essere impiegati:

- 6,76 kg di intonaco premiscelato naturale di finitura
- 5,41 l di acqua (80% del peso dell'intonaco)

97. Scheda tecnica CANAPASTUCK, Edilcanapa® S.r.l

Infine, nella posa in opera dei sistemi di isolamento a cappotto "a secco", a chiusura del sistema, vi è un intonachino rasante⁹⁷,

anch'esso in sacchi da 25 kg (resa teorica per un centimetri di spessore è 0,900 kg/m²) ai quali deve essere aggiunto il 60% di acqua. Dovendo colmare uno spessore di 0,50 cm, per la lavorazione in cantiere sono richiesti:

- 2,20 kg di intonaco premiscelato naturale di finitura
- 1,33 l di acqua (60% del peso dell'intonaco)

Conclusioni

Lo studio ha condotto quindi a dei risultati pressoché prevedibili, infatti per quanto riguarda l'isolamento in calce e canapulo, il quantitativo totale di acqua impiegata è 24,70 l; di questi, 15,91 l derivano dal contenuto del getto, 7,93 l dalla produzione dell'intonaco termico e 0,85 l dall'intonaco di finitura.

Materiale	Spessore (cm)	Acqua (l)
Getto in calce e canapulo	20,0	15,91
Intonaco termico	3,0	7,93
Finitura	0,2	0,85
TOTALE		24,70

Tabella 5.10 - Tabella riassuntiva dei l di acqua necessari per la realizzazione del Protipo 01

Nel cappotto in fibra di canapa con sistema “a umido”, la richiesta di acqua totale è pari a 12,0 l, dei quali, 3,90 l per la produzione della malta di incollaggio e 8,10 l per la lavorazione dell'intonaco di finitura.

Materiale	Spessore (cm)	Acqua (l)
Malta collante	0,6	3,90
Intonaco di finitura	0,9	8,10
TOTALE		12,0

Tabella 5.11 - Tabella riassuntiva dei l di acqua necessari per la realizzazione del Protipo 02

Infine, nel sistema a secco, non necessitando dell'utilizzo di alcun collante per la posa dei pannelli, le uniche fasi che richiedono il contenuto idrico sono: la lavorazione dell'intonaco di finitura in quantità pari a 5,41 l e la rasatura finali in quantità pari a 1,33 l, per un totale di 6,74 l.

Materiale	Spessore (cm)	Acqua (l)
Intonaco di finitura	0,6	5,41
Rasatura	0,5	1,33
TOTALE		6,74

Tabella 5.12 - Tabella riassuntiva dei l di acqua necessari per la realizzazione del Prototipo 03

Possiamo quindi dedurre che la scelta di un sistema “a secco” sia più sostenibile, in quanto la quantità di acqua richiesta è inferiore rispetto a quella necessaria nei casi di applicazione “a umido”

Più d’impatto è l’utilizzo della miscela in calce e canapulo: l’apporto idrico è circa il quadruplo rispetto a quanto previsto dalla soluzione ottimale.

5.2.5 - Posa in opera

Le fasi di posa dei tre sistemi, già trattate nel Capitolo 04, permettono di trarre una serie di conclusioni, in particolare sulle differenze tra i sistemi di posa “a secco” e “a umido”.

Dallo studio relativo ai sistemi posati “a umido”, quali il Prototipo 01 e 02, sono state individuate alcune problematiche:

- l’utilizzo di malte collanti fa sì che il sistema non sia disassemblabile
- gli interventi di manutenzione risultano più complessi
- è necessario un periodo di asciugatura variabile a seconda delle condizioni climatiche del luogo
- è richiesta la preparazione dei materiali all’interno del sito, prolungando la durata del cantiere.

Analizzando invece la posa in opera “a secco”, applicata nel Prototipo 03, presenta alcune potenzialità, tra cui:

- la possibilità di riutilizzo senza che il materiale, una volta rimosso, debba subire alcuna lavorazione
- la facilità nella sostituzione degli elementi, senza rimuovere o smantellare l’intera struttura
- una minor durata delle fasi di cantiere.

E’ opportuno però puntualizzare che la sua realizzazione non potrà mai essere completamente “a secco”. Questo dovuto al fatto che, per la protezione delle superfici esterne, vengano applicati strati di intonaco di finitura e di rasatura.

Ricapitolando, è quindi chiaro come, dalla scelta di una tecnologia “a secco” si possano riscontrare numerosi vantaggi rispetto all’utilizzo di un sistema “a umido”.

5.2.6 - Sfridi di lavorazione

Gran parte delle attività e processi produttivi generano sfridi e scarti intesi come *“l’insieme dei residui o cascami che risulta dalla lavorazione”*⁹⁸ (si pensi ad esempio al taglio dei pannelli per l’isolamento o ai residui di materiale al termine delle fasi produttive).

Per ridurre gli sfridi è essenziale intervenire, oltre che nella fase esecutiva, anche nelle scelte progettuali, mirando all’uso di materiali che ne generino ridotte quantità. Nei casi in cui vi sia l’impossibilità di eliminarli o limitarli, si può cercare di trarne valore attraverso il loro riutilizzo o riciclaggio.

Mettendo a confronto i materiali utilizzati per la realizzazione dei modelli, possiamo dire che, nel caso del getto in calce e canapulo, essendo una miscela sfusa, la percentuale di materiale in eccesso sia minima. Infatti, qualora venga prodotta direttamente in cantiere, è possibile dosare la produzione in base ai quantitativi richiesti; se invece il conglomerato giunge al sito di posa all’interno delle big bags, come nel caso della Calce Piasco, l’eccesso può essere restituito all’azienda per un futuro utilizzo.

Per quanto riguarda i pannelli in fibra di canapa, date le loro dimensioni fisse e di conseguenza vincolanti, in fase di posa dovranno essere tagliati e adeguati agli spazi a disposizione. In questo caso, i residui possono essere utilizzati nel cantiere stesso per colmare le fessure tra i pannelli, eliminando così le fughe (possibile causa di riduzione delle prestazioni). In alternativa, essendo privi di “scadenza”, possono essere stoccati in appositi contenitori ed impiegati anche a distanza di tempo. In merito ai cascami di malte e di intonaci, essendo materiali esclusivamente naturali, sono al 100% biodegradabili e di conseguenza possono essere smaltiti in natura.

Conclusioni

È chiaro che la scelta del sistema “ad intercapedine” (Prototipo 01) sia ottimale per una riduzione degli sfridi di lavorazione. Nel caso dell’impiego dei pannelli, sia nel sistema “a secco” che “a umido”, nonostante i tagli vengano guidati in modo tale da ottimizzarne il consumo, vi è comunque la possibilità che si creino piccole quantità di materiali in eccesso.

5.2.7 - Costi

Un fattore che molto spesso è alla base delle decisioni nel settore delle costruzioni è quello economico. La disponibilità economica, è infatti in grado di influenzare e di condizionare le scelte materiche e tecnologiche, privilegiando così soluzioni che,

98. Fonte: www.treccani.it, consultato il 20/12/2022

a parità di prestazioni, siano più economiche. Questa tendenza si rivela talvolta limitante perchè porta a trascurare aspetti ad oggi rilevanti, come ad esempio la sostenibilità del prodotto.

Di per sé, l'uso della canapa nel settore edilizio, è ancora poco diffuso nel nostro Paese anche per ragioni economiche; infatti, rispetto all'utilizzo dei tradizionali materiali isolanti, il suo costo è superiore.

Le informazioni messe a disposizione da Edilcanapa® S.r.l e da Calcecanapa® S.r.l, hanno permesso un confronto in termini economici, analizzando i costi dei singoli materiali isolanti, al netto dell'IVA, della posa e delle spese di trasporto.

Per la realizzazione del Prototipo 01, l'ammontare complessivo dei costi dei materiali è circa pari a 65,00 €/m²; per il completamento della parete con i pannelli in fibra di canapa "a umido" è pari a 171,00 €/m², mentre per la realizzazione del prototipo "a secco" pari a 163,00 €/m².

Conclusioni

Dai dati forniti è quindi chiaro come l'acquisto dei materiali per l'isolamento in calce e canapulo sia meno oneroso rispetto all'acquisto di quelli impiegati nei sistemi a pannelli. Tra questi ultimi, con una differenza di 8 €/m², la soluzione più economica ricade nella scelta dei sistemi "a secco".

5.2.8 - Fine vita

Il fine vita, anche chiamato "end of life", rappresenta una delle fasi finali del ciclo di vita di un prodotto e, negli ultimi anni, le questioni energetico-ambientali hanno sottolineato l'importanza di questo aspetto a partire dalla progettazione. Infatti, un materiale non deve soddisfare solamente i requisiti durante la fase di gestione ma, una volta dismesso, non deve essere impattante per l'ambiente. Inoltre, al fine di garantire una progettazione sostenibile, oltre all'uso di materiali naturali, riciclabili e riciclati, è opportuno prediligere tecniche che favoriscano il disassemblaggio, il riutilizzo e il riciclaggio.

Per disassemblaggio, tipico delle tecnologie "a secco", s'intende la possibilità di separare i diversi componenti di un sistema, facilitando le operazioni di manutenzione, semplificando il riciclo e favorendo il riutilizzo.

In materia di riciclaggio, è possibile individuare 5 scenari di smaltimento (in seguito illustrati), partendo dal livello 0 per lo smaltimento in discarica per rifiuti speciali, al livello 5 nel caso in cui possa essere riutilizzato o smaltito in natura.

Scenario	Descrizione	SSPR
Discarica per rifiuti speciali	Smaltimento di rifiuti classificati come speciali	0
Discarica per inerti	Smaltimento di rifiuti classificati come inerti	1
Incenerimento	Luogo di combustione controllata dei rifiuti	2
Riciclabile a bassa prestazione	Riciclaggio con prestazioni inferiori	3
Riciclabile ad alta prestazione	Riciclaggio con prestazioni quasi identiche	4
Riutilizzabile	Riciclaggio con stessa destinazione d'uso	5
Biodegradabile	Si decompone naturalmente	5

Tabella 5.13 - Classificazione dello scenario potenziale di riciclaggio (SSPR)

Fonte: GIORDANO R., *I Prodotti per l'edilizia sostenibile - La compatibilità ambientale dei materiali nel processo edilizio*, Napoli, Sistemi Editoriali Esselibri, 2010

In riferimento ai modelli progettati per lo studio, si precisa che ad oggi, essendo questi materiali piuttosto recenti, nessun edificio è ancora stato smantellato, perciò, quanto riportato è frutto di alcune ipotesi e di informazioni fornite dalle aziende coinvolte.

Analizzando la parete isolata con la miscela in calce e canapulo, è possibile classificarla nelle pareti non disassemblabili, alla quale sono stati assegnati i seguenti indici di riciclabilità.

Materiale	Indice di riciclabilità
Getto in calce e canapulo	5
Listelli di abete	2-3-5
Termointonaco	5
Finitura	5

Tabella 5.14 - Attribuzione degli Indici di Riciclabilità ad ogni materiale a composizione del Prototipo 01

Il conglomerato, l'intonaco termico e la finitura, sono miscele composte da materiali naturali e rinnovabili (canapulo e calce NHL) senza l'aggiunta di additivi. Questo fa sì che i loro costituenti siano in grado di decomporsi (indice di riciclabilità 5), rendendosi adatti all'impiego nel settore agricolo. La presenza della calce, protegge e migliora il suolo, portando il PH a dei livelli ottimali per la coltivazione. Il canapulo invece, in quanto compostabile, si degrada. In alternativa, dopo essere stati sgretolati e miscelati con l'acqua e il legante, è possibile

ottenere un impasto di pari prestazioni, pronto per un medesimo utilizzo (indice di riciclabilità 5).

I listelli e i montanti in legno presentano più scenari di fine vita: possono essere utilizzati negli inceneritori come combustibile (indice di riciclabilità 2), possono essere lavorati per la creazione di prodotti con prestazioni inferiori (indice di riciclabilità 3) ed infine, non essendo trattati, possono essere smaltiti in natura (indice di riciclabilità 5).

Anche l'isolamento a cappotto con i pannelli in fibra di canapa applicati "a umido" si tratta di un sistema non disassemblabile, in quanto i pannelli sono posati mediante incollaggio alla muratura esistente, influenzando gli indici di riciclabilità dei componenti.

Materiale	Indice di riciclabilità
Malta collante	5
Pannello in fibra di canapa	0-2-3-5
Intonaco di finitura	5

Tabella 5.15 - Attribuzione degli Indici di Riciclabilità ad ogni materiale a composizione del Prototipo 02

La malta collante, l'intonaco isolante e la finitura superficiale, sono prodotti con la calce NHL e il canapulo, classificati come biodegradabili (indice di riciclabilità 5).

I pannelli, se in buone condizioni possono essere riciclati, ma con prestazioni inferiori (indice di riciclabilità 3) e, qualora siano costituiti esclusivamente da materiali naturali, possono rientrare nella categoria dei materiali biodegradabili (indice di riciclabilità 5). In caso contrario, dovranno essere destinati alle discariche per rifiuti speciali (indice di riciclabilità 0) o inceneriti (indice di riciclabilità 2).

Infine, per quanto riguarda la scelta del sistema "a secco", come in precedenza descritto, la posa in opera avviene tramite fissaggio o incastro in cantiere. Questa modalità favorisce il disassemblaggio e il riutilizzo di gran parte dei componenti.

Materiale	Indice di riciclabilità
Pannello in fibra di canapa	0-2-5
Listelli di abete	2-3-5
Lastra in calce e canapulo	3-5
Intonaco di finitura	5
Rasatura	5

Tabella 5.16 - Attribuzione degli Indici di Riciclabilità ad ogni materiale a composizione del Prototipo 03

I pannelli in fibra di canapa, essendo quindi privi di malte collanti, possono essere impiegati per la medesima destinazione d'uso (indice di riciclabilità 5), qualora questi siano in buone condizioni. Inoltre, come già citato in precedenza, se completamente naturali, possono essere smaltiti in natura (indice di riciclabilità 5). Il caso peggiore comporta lo smaltimento nelle discariche per rifiuti speciali o nell'inceneritore (indice di riciclabilità 0-2).

L'orditura lignea per il sostegno dei pannelli, può essere riutilizzata (indice di riciclabilità 5), può essere riciclata come combustibile (indice di riciclabilità 2) o lavorata per la produzione (indice di riciclabilità 3), ad esempio, di trucioli. Inoltre, essendo impiegato il legname privo di trattamenti, un potenziale scenario di fine vita è il compostaggio (indice di riciclabilità 5).

La lastra di chiusura in calce e canapulo (priva di leganti sintetici) è in grado di decomporsi in natura (indice di riciclabilità 5) o, a seguito della frantumazione, può essere utilizzata per impieghi con prestazioni inferiori (indice di riciclabilità 3).

Infine, l'intonaco e la finitura superficiale, anche in questo caso, sono classificati come biodegradabili (indice di riciclabilità 5).

Conclusioni

Sulla base di quanto descritto, in materia di disassemblabilità è evidente che il sistema più all'avanguardia sia la scelta del sistema "a secco", che favorisce il riciclaggio e il riutilizzo dei materiali.

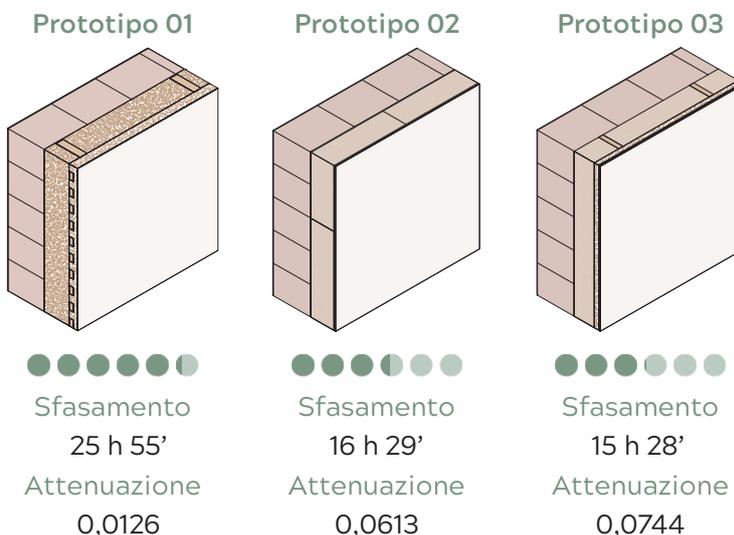
Di per sé, in ottica di riciclaggio, tutti i sistemi a cappotto in canapa, essendo costituiti da materiali di origine naturale, hanno buoni scenari di fine vita, grazie alla loro biodegradabilità e compostabilità.

5.3 - Conclusioni generali

A seguito del confronto tra i modelli, sono riportate le conclusioni generali sulla base di quanto emerso.

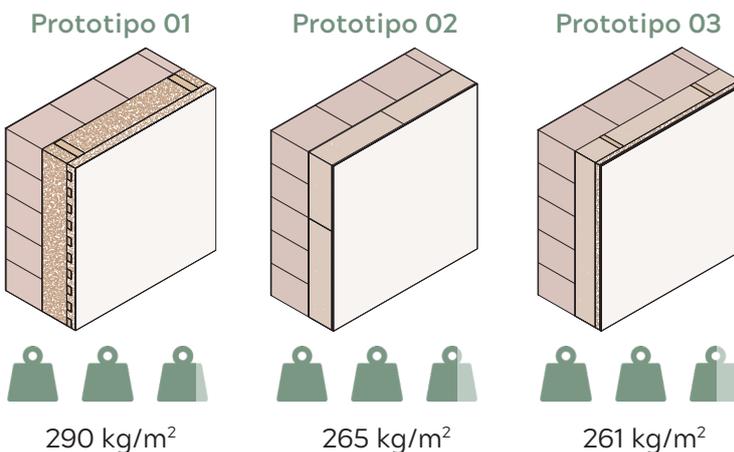
In primis, analizzando l'inerzia termica, è stata comparata la capacità di ritardare, nel periodo estivo, i picchi di calore. Nello specifico, il Prototipo 01 risulta avere una capacità di sfasamento molto maggiore rispetto agli altri due casi, dimostrando che l'ambiente interno è insensibile, nel breve periodo, a quello esterno. Nel complesso però, tutte le tre soluzioni dimostrano un comportamento positivo.

Inerzia termica



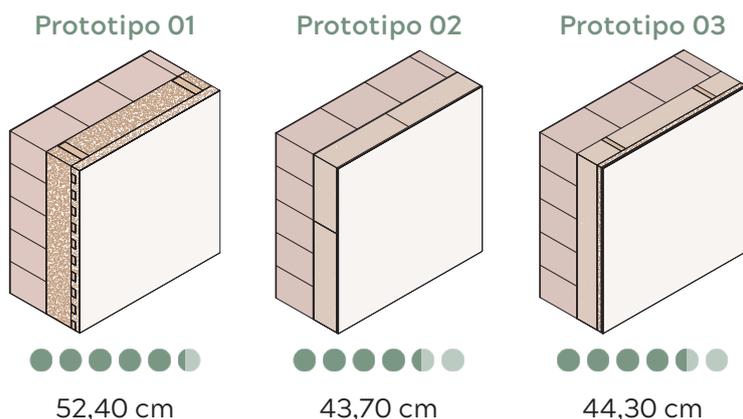
Il secondo parametro preso in esame è la massa superficiale. È chiaro che, sulla base dei risultati ottenuti, l'utilizzo della miscela abbia un peso, per metro quadro di superficie, superiore rispetto all'impiego dei pannelli in fibra di canapa, rendendo le fasi di posa in opera e di trasporto più complesse e macchinose.

Massa superficiale



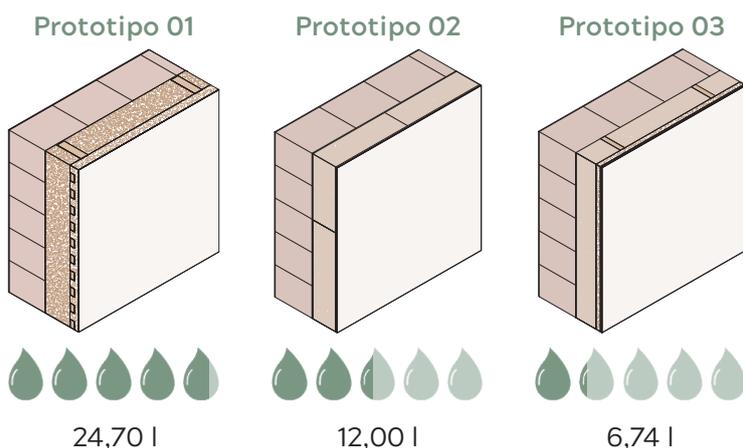
In seguito alla massa superficiale, è stato preso in considerazione lo **spessore** dei tre prototipi, per i quali si può dedurre che, a parità di trasmittanza termica, il sistema a pannelli applicati “a umido” (Prototipo 02) risulta avere uno spessore simile al sistema “a secco” e di molto inferiore se confrontato con l’utilizzo del conglomerato.

Spessore



Inoltre, dopo la determinazione delle proporzioni tra i costituenti delle miscele, ci si è focalizzati sul **quantitativo di acqua** necessaria per la loro produzione e lavorazione. Sotto questo aspetto, il sistema con la richiesta idrica maggiore è quello in calce e canapulo, mentre quello che richiede il minor quantitativo di acqua è il sistema “a secco”.

Consumo di acqua

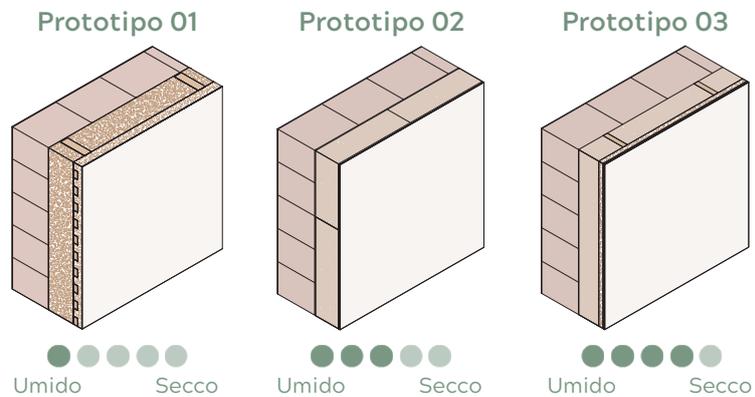


Per quanto riguarda **posa in opera**, è stata trattata la differenza tra la modalità di posa “a umido” e “a secco”.

L’analisi ha permesso di individuare le numerose potenzialità della posa in opera “a secco” non solo dal punto di vista ambientale, ma anche per quanto riguarda la manutenibilità, la disassemblabilità e la possibilità di riutilizzo dei materiali, una

volta raggiunto il fine vita. Di conseguenza, la scelta di un sistema “a secco” presenta un maggior numero di vantaggi rispetto al sistema “a umido”.

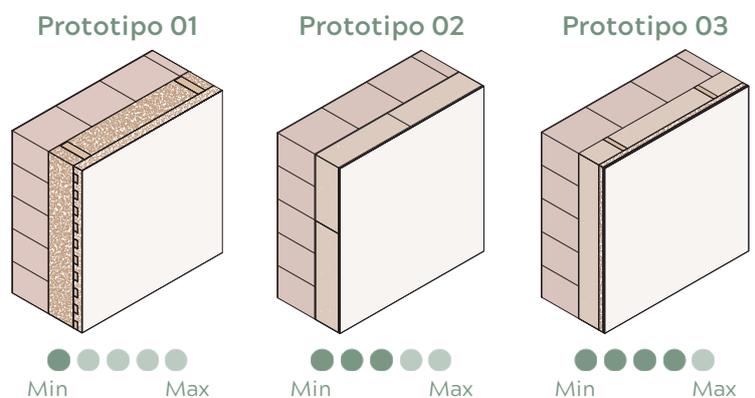
Posa in opera



Interessante è il tema degli **sfridi di lavorazione**. Questo studio ha permesso di capire come, l'utilizzo di un sistema sfuso (conglomerato in calce e canapulo), permetta di ridurre gli sprechi in quanto il materiale, se prodotto in cantiere, può essere dosato in base alle necessità. Qualora questo arrivi in *situ* all'interno delle big bags, la miscela in eccesso può essere rinviata allo stabilimento, in attesa di essere utilizzata in altri cantieri. In questo sistema, gli sfridi di lavorazione derivano prevalentemente dai cascami di malte e intonaci o dal taglio degli elementi lignei di sostegno.

Invece, l'impiego dei pannelli in fibra, sia “a secco” che “a umido”, essendo le loro dimensioni fisse, fa sì che debbano essere adeguati e, per quanto i tagli siano guidati al fine di ottimizzarne il consumo, vi è comunque la possibilità che si creino dei residui.

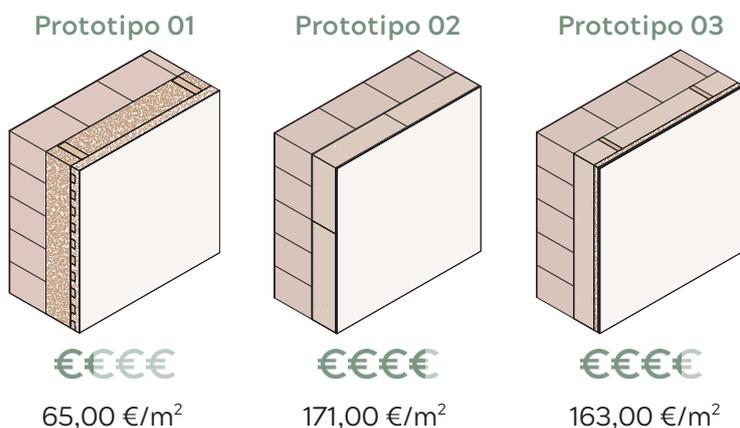
Sfridi di lavorazione



Il penultimo parametro è il **costo**, una caratteristica piuttosto rilevante, in grado di influenzare le scelte in fase di progettazione. Sulla base di quanto riportato dalle aziende di riferimento, il

sistema a cappotto in canapa più economico risulta essere quello “ad intercapedine”, in quanto il costo dei materiali è di gran lunga inferiore rispetto ai casi d’impiego dei pannelli in fibra di canapa.

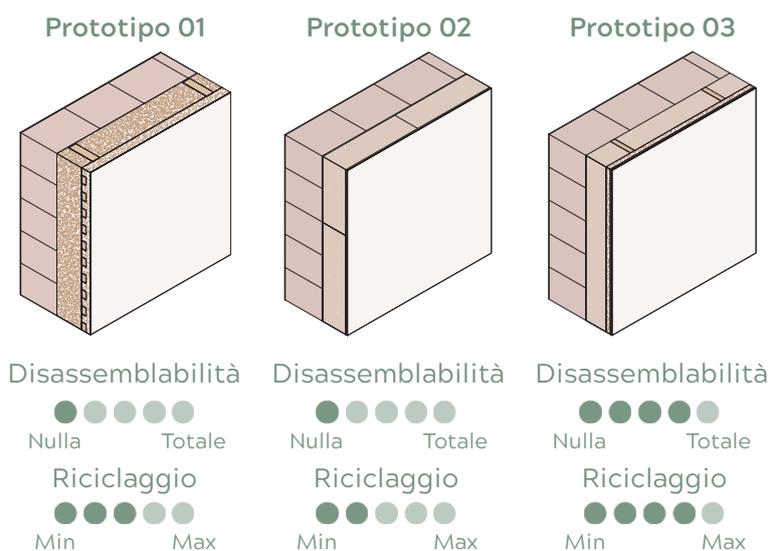
Costi



In conclusione ci si è focalizzati sul loro **fine vita**, in materia di disassemblabilità e di smaltimento o riciclaggio. Per quanto riguarda la disassemblabilità, il sistema a pannelli in fibra “a secco” è l’unico sistema che risulta essere in parte disassemblabile, contrariamente agli altri due modelli.

I tre sistemi sono poi dotati di scenari di riciclaggio differenti, a seconda dei materiali a composizione.

Fine vita

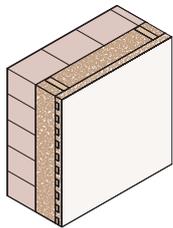
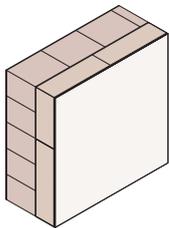
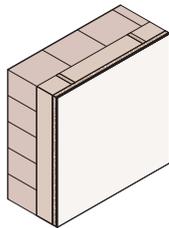




CONCLUSIONI

In questo elaborato, nella prima parte, dopo aver affrontato il dibattito sulla questione energetico-ambientale, è stato introdotto l'impiego della canapa nel settore edilizio. In particolare l'attenzione si è focalizzata sull'utilizzo del conglomerato in calce e canapulo e dei pannelli in fibra, nella riqualificazione energetica, mediante l'analisi di due reali casi studio.

L'ultimo capitolo, dal carattere più tecnico, è stato dedicato al confronto tra tre sistemi rappresentativi di isolamento a cappotto in canapa, che ha permesso di individuare le principali differenze, esplicitate nella tabella riassuntiva sottostante.

Parametro	Prototipo 01	Prototipo 02	Prototipo 03
			
Inerzia termica			
Sfasamento	25 h 55'	16 h 29'	15 h 28'
Attenuazione	0,0126	0,0613	0,0744
Massa superficiale	290 kg/m ²	265 kg/m ²	261 kg/m ²
Spessore	52,40 cm	43,70 cm	44,30 cm
Consumo di acqua	24,70 l	12,00 l	6,74 l
Posa in opera	 Umido Secco	 Umido Secco	 Umido Secco
Sfridi	 Min Max	 Min Max	 Min Max
Costi	65,00 €	171,00 €	163,00 €
Fine vita			
Disassemblabilità	 Nulla Totale	 Nulla Totale	 Nulla Totale
Smaltimento	 Min Max	 Min Max	 Min Max

Nonostante sia emerso da quest'analisi che gli isolanti in canapa abbiano buone capacità termiche e alti livelli di sostenibilità ambientale, attualmente, il loro impiego per la coibentazione dell'involucro, e in generale nell'ambito delle costruzioni, è ancora poco diffuso. Questo per la limitata presenza di aziende

che commercializzano i prodotti, la scarsa diffusione delle filiere in Italia e la carente informazione di professionisti e committenti sulle potenzialità del materiale.

Attualmente, l'85% del mercato italiano fa ricadere le scelte sui tradizionali materiali isolanti, tra cui il più diffuso risulta essere l'EPS (polistirene espanso sinterizzato), per un miglior rapporto tra prestazioni e investimento (qualità-prezzo) e per la facile reperibilità, molto spesso trascurando gli aspetti ambientali. Questo materiale, infatti, non può essere definito come ecologico, e il suo impiego risulta poco coerente con gli obiettivi di sviluppo sostenibile.

Essendo di origine sintetica, i principali costituenti sono derivanti da fonti fossili; il processo di produzione è molto energivoro e implica emissioni di CO₂; in ottica di fine vita, risultano più complessi i processi di smaltimento o di riciclaggio. Infine, il suo utilizzo nel sistema a cappotto comporta la necessità di prevedere l'installazione dell'impianto di ventilazione meccanica controllata (VMC), al fine di regolare e controllare le condizioni di umidità interna ed evitare l'insorgenza di muffe.

Vista la necessità di porre un'attenzione sempre maggiore alla salvaguardia del pianeta, è indispensabile un approccio bio-eco-sostenibile che abbia come fulcro: l'utilizzo di prodotti e tecnologie con ridotto impatto sull'ambiente, il preservare le risorse e l'eliminazione dei materiali che possano costituire una minaccia per la salute umana e per l'ecosistema. E' quindi necessario che la progettazione di un organismo edilizio, non si limiti solo a considerare le prestazioni delle singole parti che lo costituiscono, ma è indispensabile valutare l'impatto che ha nell'intero ciclo di vita e il relativo peso ecologico.

Al termine dell'analisi condotta con questo lavoro di tesi, si può affermare che la scelta degli isolanti in canapa derivanti da filiere sostenibili, traspiranti, igroscopici, ecologici, atossici e "*carbon negative*", sia perfettamente in linea con i pilastri dello sviluppo sostenibile.

Inoltre, nell'era della crisi climatica e nella prospettiva Nzeb, le potenzialità della canapa potrebbero favorire la rivalutazione di questo materiale. E' necessario però intervenire con la promozione, divulgazione della conoscenza e una maggiore spinta alla sensibilizzazione verso i temi ambientali, soprattutto per invertire la tendenza che oggi predilige materiali tradizionali e poco sostenibili.

Il settore edile deve essere modificato partendo dal basso, ampliando l'orizzonte degli operatori, diffondendo consapevolezza e indirizzando i committenti verso scelte più ecologiche.

Rivedere il modo di costruire è una priorità che non può essere più rinviata!



FONTI

LIBRI

- BACCI L., BARONTI S., ANGELINI L., *Manuale di coltivazione e prima lavorazione della canapa da fibra*, Firenze, Istituto di Biometeorologia del CNR, 2007;
- BEAVAN R., WOOLLEY T., *Hemp Lime Construction- A guide to building with hemp lime composites*, Bracknell, HIS Bre Press, 2008;
- DE MARTIN P., *Manuale di Progettazione per la riqualificazione energetica*, Santarcangelo di Romagna, Maggioli Editore, 2021;
- FIORITO F., *Involucro edilizio e risparmio energetico. Soluzioni progettuali e tecnologiche*, Palermo, Dario Flaccovio Editore, 2009;
- GIORDANO R., *I Prodotti per l'edilizia sostenibile - La compatibilità ambientale dei materiali nel processo edilizio*, Napoli, Sistemi Editoriali Esselibri, 2010;
- PERLETTI M. A., *Costruire sostenibile con la canapa. Guida all'uso in edilizia di un materiale naturale e innovativo*, Santarcangelo di Romagna, Maggioli Editore, 2020;
- TONINELLI P. A., *Lo sviluppo economico moderno - dalla rivoluzione industriale alla crisi energetica (1750-1973)*, Venezia, Marsilio, 1997;
- WOOLLEY T., *Natural Building: A Guide to materials and Techniques*, The Crowood Press Ltd, Ramsbury, 2006.

ARTICOLI SCIENTIFICI

- ARNAUD L., SAMRI D., BOYEUX B., *Intérêts écologiques et performances techniques des mortiers de chanvre et chaux pour le bâtiment*, Lyon, Université de Lyon, 2008, <https://docplayer.fr/23348654-Interets-ecologiques-et-performances-techniques-des-mortiers-de-chanvre-et-chaux-pour-le-batiment.html>, consultato il 08/09/2022;
- BATTEGAZZORE D., ALONGI J., DURACCIO D., FRACHE A., *Reuse and valorisation of hemp fibres and rice husk particles for fire resistant fibreboards and particleboards*, Journal of Polymers and the Environment, 2018, https://www.researchgate.net/publication/325205486_Reuse_and_Valorisation_of_Hemp_Fibres_and_Rice_Husk_Particles_for_Fire_Resistant_Fibreboards_and_Particleboards, consultato il 18/10/2022;
- BENFRATELLO S., CAPITANO C., PERI G., RIZZO G., SCACCIANOCE G., SORRENTINO G., *Thermal and structural properties of a hemp-lime biocomposite*, Construction Building Materials, vol. 48, 2013, pp 745-754, <https://iris.unipa.it/handle/10447/82675>, consultato il 12/09/2022;
- BRE - BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT LTD, *Final Report on the Construction of the Hemp Houses at Haverhill*, Suffolk, 2002, <http://projects.bre.co.uk/hemphomes/HempHousesatHaverhillfinal.pdf>, consultato il 14/09/2022;
- BRE - BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT LTD, *Thermographic Inspection of the Masonry and Hemp Houses at Haverhill*, Suffolk, 2003, <https://docplayer.net/79767806-Client-report-prepared-for-thermographic-inspection-of-the-masonry-and-hemp-houses-haverhill-suffolk-client-report-number-dr.html>, consultato il 16/09/2022;
- BUMANIS G., VITOLA L., PUNDIENE I., SINKA M., BAJARE D., *Gypsum, Geopolymers, and Starch-Alternative Binders for Bio-Based Building Materials:*

A Review and Life-Cycle Assessment, Department of Building Materials and Products, Riga Technical University, 2020, https://www.researchgate.net/publication/342926059_Gypsum_Geopolymers_and_Starch-Alternative_Binders_for_Bio-Based_Building_Materials_A_Review_and_Life-Cycle_Assessment, consultato il 05/10/2022;

COLLET F., PRETOT S., *Thermal conductivity of hemp concretes: variation with formulation density and water content*, Construction and Building Materials, vol. 65, 2014, pp. 612-619, <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061814005224>, consultato il 12/09/2022;

CONSTRUIRE EN CHANVRE, *Justification de la conformité d'une façade à ossature bois remplie de béton de chanvre projeté ou banché et recouvert côté extérieur d'un enduit chaux/sable*, Appréciation de laboratoire n° 02609, Parigi, 2021, https://www.construire-en-chanvre.fr/documents/pdf/documentation/AL_026090.pdf, consultato il 14/09/2022;

FREIVALDE L., KUKLE S., ANDŽS M., BUKŠĀNS E. E GRĀVĪTIS J., *Flammability of raw insulation materials made of hemp*, Composites Part B: Engineering, Vol. 67, 2014, pp. 510-514, <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1359836814003187>, consultato il 13/10/2022;

INVERNIZZI R., MELOSINI M., *South hemp tecno - Filiera canapa Sud Italia*, La filiera della canapa e il Cnr, 2017, https://www.researchgate.net/publication/317305050_Filiera_Canapa_Sud_Italia_-_South_Hemp_Tecno, consultato il 07/09/2022;

IP K., MILLER A., *Life cycle greenhouse gas emissions of hemp-lime wall constructions in the UK*, Resources, Conservation and Recycling, Vol. 69, 2012, pp. 1-9, https://www.researchgate.net/publication/271608819_Life_cycle_greenhouse_gas_emissions_of_hemp-lime_wall_constructions_in_the_UK, consultato il 18/09/2022

KIM L., PICKERING M. G., ARUAN E., TAN MINH L., *A review of recent developments in natural fibre composites and their mechanical performance*, Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, Vol. 83, 2016, pp. 98-112, <https://core.ac.uk/download/pdf/44289781.pdf>, consultato il 14/10/2022;

KINNANE O., REILLY A., GRIMES J., PAVIA S., WALKER R., *Acoustic absorption of hemp-lime construction*, Construction and Building Materials, vol. 122, 2016, pp. 674-682, https://pureadmin.qub.ac.uk/ws/files/131739324/Acoustic_absorption_of_hemp_lime_construction.pdf, consultato il 15/09/2022;

LAWRENCE M., FODDE E., PAINE K., WALKER P., *Hygrothermal Performance of an Experimental Hemp-Lime Building*, University of Bath: Department of Architecture & Civil Engineering, BRE Centre in Innovative Construction Materials, 2012, pp. 413-421, <https://researchportal.bath.ac.uk/en/publications/hygrothermal-performance-of-an-experimental-hemp-lime-building-2>, consultato il 07/09/2022;

MARCHESINI M., GOBBO I., MARVELLI S., *Ricostruzione del paesaggio vegetale nel Neolitico medio in Emilia Romagna attraverso le indagini palinologiche*, Rivista di Studi Liguri, 2011/13, pp. 63-70, consultato il 23/07/2022, https://iris.unimore.it/retrieve/handle/11380/1064329/21534/Scalvatura_nel_Neolitico_medio.pdf, consultato il 22/07/2022;

MAZEDUL M., HAO WANG K., TAK LAU A. K., CARDONA F., ARAVINTHAN T., *Mechanical properties of chemically-treated hemp fibre reinforced sandwich composites*, Composites Part B: Engineering, Vol. 43, pp. 159-169, <https://www.semanticscholar.org/paper/Mechanical-properties-of-chemically-treated-hemp-Kabir-Wang/7e50bc81e043401b69eb53bebf19319c9bd5359f>, consultato il 05/10/2022;

MCPARTLAND J., GEOFFREY W. G., HEGMAN W., *Cannabis indigenous to Europe and cultivation began during the Copper or Bronze age: a probabilistic synthesis of fossil pollen studies*, Vegetation History and Archaeobotany, vol. 27, 2018, pp. 635-648, <https://www.semanticscholar.org/paper/Cannabis-is-indigenous-to-Europe-and-cultivation-or-McPartland-Guy/69b113e621010511c3f13b873e6e6da0ac9ccea>, consultato il 23/07/2022;

MERCURI A. M., ACCORSI C. A., BANDINI MAZZANTI., *The long history of Cannabis and its cultivation by the Romans in central Italy, shown by pollen records from Lago Albano and Lago di Nemi*, Vegetation History and Archaeobotany, vol. 11, 2002, pp. 263-276, <https://www.jstor.org/stable/23418014>, consultato il 23/07/2022;

PROGETTO SCARABEO, *Linee guida per la coltivazione della canapa da seme e fibra*, 2020, p.10, <https://www.psrscarabeo.it/wp-content/uploads/2020/12/Linee-guida-SCARABEO-1.pdf>, consultato il 03/08/2022;

ROBBA D., CARAMIELLO R., MARTINO G. P., *Indagini paleobotaniche su reperti di una tomba del IV-V secolo d.C. rinvenuta ad Albintimilium (Ventimiglia, Liguria)*, Rivista di Studi Liguri, vol. 63-64, 1997-98, pp. 323-336, <https://samorini.it/archeologia/europa/canapa-antica-europa/>, consultato il 23/07/2022;

RONCHETTI P., *Il cemento di canapa e calce: un promettente materiale e metodo di costruzione per l'edilizia sostenibile*, 2007, https://www.usidellacanapa.it/pdf/cemento_di_canapa_e_calce.pdf, consultato il 23/07/2022;

THAMAE T., AGHEDO S., BAILLIE A. C., MATOVIC D., *Tensile properties of hemp and Agave americana fibres*, Handbook of Tensile Properties of Textile and Technical Fibers, 2009, pp. 73-99, <https://www.mdpi.com/2079-6439/7/12/106>, consultato il 12/08/2022;

VÄISÄNEN T., BATELLO P., LAPPALAINEN R., TOMPPU L., *Modification of hemp fibers (Cannabis Sativa L) for composite applications*, Industrial Crops and Products, vol. 11, 2018, pp. 422-429, https://www.researchgate.net/publication/320868833_Modification_of_hemp_fibers_Cannabis_Sativa_L_for_composite_applications, consultato il 18/10/2022;

ZAMPORI L., DOTELLI G., VERNELLI V., *Life Cycle Assessment of Hemp Cultivation and Use of Hemp-Based Thermal Insulator Materials in Buildings*, Environmental Science and Technology, 2013, https://www.researchgate.net/publication/237092725_Life_Cycle_Assessment_of_Hemp_Cultivation_and_Use_of_Hemp-Based_Thermal_Insulator_Materials_in_Buildings, consultato il 21/10/2022;

TESI DI LAUREA

ANGELOZZI 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)*,

Tesi di Laurea, Università di Bologna, Facoltà di Ingegneria Edile - Architettura, 2019/2020. Relatore: Elisa Franzoni.

ARNAUD L., CERZO V., *Qualification physique des matériaux de construction à base de chanvre*, École National des Travaux Publics de l'État, Departement Genie Civil et Batiment (in French), 2004;

CASAMENTO, F., *Studio di blend polimerici a base PLA: effetto di compatibilizzanti naturali*, Tesi di Laurea, Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria dei Materiali, 2019. Relatore: Rossella Arrigo;

ZULLINO M. G., *Costruire in canapa e calce: Progetto "Casa di Luce"*, Tesi di Laurea, Politecnico di Torino, Facoltà di Architettura II per il Progetto Sostenibile, 2017/2018. Relatore: Daniela Bosia;

SITI WEB

www.archetica.com, consultato il 14/09/2022

www.assocanapa.it, consultato il 28/02/2022

www.agenziadellentrare.gov.it, consultato il 25/11/2022

www.batiweb.com, consultato il 14/09/2022

www.blog.enecta.it, consultato il 02/08/2022

www.canapaindustriale.it, consultato il 28/07/2022

www.casanova.bio.it, consultato il 06/06/2022

www.climate.ec.europa.eu, consultato il 24/11/2022

www.cortexa.it, consultato il 10/11/2022

www.ec.europa.eu, consultato 24/11/2022

www.edilcanapasrl.it, consultato il 29/09/2022

www.ediltecnico.it, consultato il 25/11/2022

www.ediltec.com, consultato il 15/12/2022

www.equilibrium-bioedilizia.it, consultato il 22/07/2022

www.focus.it, consultato il 06/10/2022

www.forumcalce.it, consultato il 09/09/2022

www.gazzettaufficiale.it, consultato il 26/07/2022

www.greenreport.it, consultato il 07/07/2022

www.gruppofibranova.it, consultato il 28/07/2022

www.hempnz.co.nz, consultato il 03/08/2022

www.industriaitalia.it, consultato il 16/10/2022

www.isprambiente.gov.it, consultato il 24/11/2022

www.labancadellacalce.it, consultato il 09/09/2022

www.la-certificazione-energetica.net, consultato il 12/09/2022

www.larepubblica.it, consultato il 24/11/2022

www.sostenibilita.enea.it, consultato il 07/10/2022

www.technichanvre.it, consultato il 29/08/2022

www.tecnocanapa-bioedilizia.it, consultato il 01/09/2022

www.treccani.it, consultato il 22/07/2022

SCHEDE TECNICHE

Scheda tecnica Calcenapa GETTO

Scheda tecnica Calcenapa TERMOINTONACO

Scheda tecnica Calcenapa FINITURA

Scheda tecnica Edilcanapa CANAPANNELE 100

Scheda tecnica Edilcanapa CANAPANNELE 35

Scheda tecnica Edilcanapa CANAPAMIX 3

Scheda tecnica Edilcanapa SALUBERPAN

Scheda tecnica Edilcanapa CANASTUCK

Scheda tecnica Edilcanapa CANACOLL

RIFERIMENTI NORMATIVI

LEGGE 22 dicembre 1975, n. 685, *Disciplina degli stupefacenti e sostanze psicotrope. Prevenzione, cura e riabilitazione dei relativi stati di tossicodipendenza*;

CIRCOLARE 2 dicembre 1997, n. 734, *Disposizioni relative alla coltivazione della Cannabis sativa L. (Canapa da "tiglio")*;

LEGGE 2 dicembre 2016, n. 242, *Disposizioni per la promozione della coltivazione e della filiera agroindustriale della canapa*, entrata in vigore il 14/01/2017;

LEGGE 30 marzo 1976, n. 373, *Norme per il contenimento del consumo energetico per usi termici negli edifici*;



RINGRAZIAMENTI

Alla relatrice, la Prof.ssa Elena Piera Montacchini e alla correlatrice Angela Lacirignola, che con professionalità e disponibilità mi hanno guidato in questo percorso. Grazie per i consigli e le precise correzioni.

All'Edilcanapa® S.r.l, Calcecanapa® S.r.l e alla Calce Piasco S.r.l.

Allo Studio B&B, allo Studio Gili, allo Studio Ricotta, a Daniele Cattelino e a Mariaelena Alessandrini.

A mio papà e a mia mamma, rifugio sicuro in questi anni, che mi hanno sempre assicurata e sostenuta in ogni mia scelta. Un semplice "grazie" di certo non basterà mai.

A mio fratello, a cui non dimostro mai l'affetto che dovrei, ma che è più forte di quel che lui creda.

Ai nonni.

Al resto della famiglia.

A chi non c'è più.

A te, che con pazienza ed estrema dolcezza mi sei stato accanto, mi hai incoraggiata e hai saputo ascoltare. Sono certa che, insieme, raggiungeremo altri importanti traguardi per le nostre vite.

Alle compagne di Università, che hanno reso meno faticoso questo percorso.

Alle amiche e agli amici di sempre.

Ai coinquilini.

All'ansia, che non mi lascerà mai sola.

GRAZIE.



ALLEGATO 01

SCHEDE TECNICHE



Tipo UNI EN 998-1	Malta per isolamento termico T1 premescolata e pronta all'uso
Confezione	Big Bag da 1m ³
Resa teorica	1m ³ BigBag - 5/10 % in relazione al tipo di costipazione/posa
Lavorabilità a 20 °C	120 minuti
Coefficiente di diffusione al vapore acqueo UNI EN 1015-18	$\mu = 6$
Massa Volumica Apparente della malta indurita	240 kg/m ³
Calore specifico	1700 J/kg K
Conducibilità termica valore dichiarato ai sensi UNI EN ISO 10456	$\lambda = 0,057$ W/mK
Resistenza a compressione UNI EN 998-1	Categoria CS I
Assorbimento d'acqua per capillarità	Classe W1
Reazione al fuoco UNI EN13501	Classe A2
Potere fonoisolante RW (sp 30cm)*	> 42 dB



TERMOINTONACO

Tipo UNI EN 998-1	Malta per isolamento termico T1
Confezione	Kit composto da: Legante Aereo Magnesiacco (3 sacchi x25,00 kg) Canapulo Mineralizzato (3 sacchi 10,50 Kg/cad) Legante Idraulico (1 sacco da 17,50 Kg/cad)
Resa teorica	0,21 m ³ /Kit 7,0 m ² /Kit (spessore 3 cm) 4,2 m ² /Kit (spessore 5 cm) 2,1 m ² /Kit (spessore 10 cm)
Lavorabilità a 20 °C	45 minuti
Adesione al supporto - UNI EN1015-12	0,1 N/mm ² FB:B
Resistenza a compressione UNI EN1015-11	Classe CS I - 0,8 N/mm ²
Coefficiente di permeabilità al vapore acquoso - UNI EN 1015-19	$\mu = 5,3$
Massa Volumica Apparente della malta indurita - UNI EN1015-10	400 kg/m ³
Reazione al fuoco - UNI EN 13501	Classe A2 -s1, d0
Calore specifico	1500 J/kg K
Conducibilità termica - UNI EN 1745	$\lambda=0,085$ W/mK
Potere fonoisolante su parete UNI EN 1015-12	52 dB
Assorbimento d'acqua - UNI EN1015-11	Classe W1

**FINITURA**

Tipo UNI EN 998-1	Miscela coibente di finitura
Confezione	Sacchi da 20 Kg
Resa teorica	0,950 kg/m ² /mm
Intervallo granulometrico	0-0,5 mm
Lavorabilità a 20 °C	45 minuti
Coefficiente di diffusione al vapore acqueo UNI EN 1015-18	$\mu = 7,5$
Massa Volumica Apparente della malta indurita	1100 kg/m ³
Reazione al fuoco UNI EN 13501	Classe A2
Calore specifico	1200 J/kg K
Conducibilità termica UNI EN 1745	$\lambda = 0,195$ W/mK



SCHEDA TECNICA CANACOLL

Dati caratteristici	Valore/descrizione	Unità di misura
Aspetto	Polvere colore nocciola	-
Granulometria	0-1	mm
Acqua d'impasto	0,60-0,70	l/kg
Lavorabilità a 25 °C	45	minuti
Temperatura di applicazione	+5/+30	°C
Resistenza a compressione	2,16	N/mm ²
Reazione al fuoco	Euroclasse A2	-
Assorbimento d'acqua per capillarità	1,06 (categoria W0 - UNI EN 1015-18)	Kg/m ² min ^{0,5}
Resistenza diffusione vapore acqueo (μ)	≤ 15	-
Adesione	≥ 0,62 (RotturaditipoB- UNI EN1015-12)	N/mm ²
Conducibilità termica	0,5	W/mK
Calore specifico	1200	J/kgK
Densità	1160	Kg/m ³



SCHEDA TECNICA CANAPANNEL 100

Dati caratteristici	Valore/descrizione	Unità di misura
Aspetto	Fibra colore nocciola	-
Dimensioni	1100x600 (±1,5%)	mm
Spessore di uno strato	40/50/60/80/100*/120*/140*/160* * pannello incollato	mm
Geometria	Larghezza ± 1,5 Lunghezza ± 2,0 Spessore T3 (Classe di tolleranza) Ortogonalità ≤ 5 Planarità ≤ 6	% % mm/m mm
Fibra legante	PES Bi.Co (15%)	-
Peso su bancale	Circa 345	Kg
Resistenza diffusione vapore acqueo (μ)	≤ 2 (EN ISO 12086)	
Conducibilità termica	0,039 (EN ISO 10456)	W/mK
Densità	100 85-115 (EN1602)	Kg/m ³
Reazione al fuoco	E (EN 13501-1 + A1)	
Assorbimento acustico	EAD 040005-00-1201 Allegato A EN ISO 354; EN ISO 11654	1 CLASSE A
Proprietà meccaniche	Sollecitazione di compressione al 10% di deformazione ≥ 25 Resistenza a trazione parallela alle facce Longitudinale ≥ 100 Resistenza a trazione parallela alle facce Trasversale ≥ 15	kPa kPa kPa



SCHEDA TECNICA CANAPANNEL 35

Dati caratteristici	Valore/descrizione	Unità di misura
Aspetto	Fibra colore nocciola	-
Dimensioni	1100x600 (±1,5%)	mm
Spessore di uno strato	30/40/50/60/80/100/120/140/160/180	mm
Geometria	Larghezza ± 1,5% Lunghezza ± 2,0% Spessore T3 (Classe di tolleranza)	
Fibra legante	Pes BICO o PLA (15%)	
Peso su bancale	Circa 130	Kg
Resistenza diffusione vapore acqueo (μ)	≤ 2 EN ISO 12086	
Conducibilità termica	0,039 (EN ISO 10456)	W/mK
Densità	35	Kg/m ³
Reazione al fuoco	E	
Assorbimento acustico	EAD 040005-00-1201 Allegato A EN ISO 354; EN ISO 11654	0,70 CLASSE C



SCHEDA TECNICA SALUBERPAN[®]

Dati caratteristici	Valore/descrizione	Unità di misura
Aspetto	Pannello colore nocciola	-
Dimensioni	1000x1200	mm
Spessore di uno strato	20 – 30 – 50 -	mm
Tolleranza dimensionale	+/- 8	mm
Legante	Collante senza formaldeide	-
Densità	275	Kg/m³
Resistenza diffusione vapore acqueo (μ)	≤ 12,6 EN ISO 12086	
Conducibilità termica	0,0629	W/mK
Resistenza a compressione orizzontale	3,83	MPa
Resistenza a compressione verticale	1,41	MPa
Classe di reazione al fuoco	E	



SCHEDA TECNICA CANAPAMIX 3

Dati caratteristici	Valore/descrizione	Unità di misura
Aspetto	Polvere colore nocciola	-
Granulometria	0-1	mm
Acqua d'impasto	0,80-0,90	l/kg
Lavorabilità a 25 °C	45	minuti
Temperatura di applicazione	+5/+30	°C
Resa teorica	11,25	Kg/m ² x cm di spessore
Resistenza a compressione	1,5 (UNI EN 12390-3)	N/mm ²
Reazione al fuoco	B - s1, d0 (UNI EN 13501-1:2019)	-
Resistenza diffusione vapore acqueo (μ)	≤ 15	-
Conducibilità termica	0,20 (UNI EN 10456)	W/mK
Densità	1125	Kg/m ³



SCHEDA TECNICA CANAPASTUCK

Aspetto	Polvere colore nocciola	-
Granulometria	0-0,3	mm
Acqua d'impasto	0,6-0,7	l/kg
Lavorabilità a 25 °C	45	minuti
Temperatura di applicazione	+5/+30	°C
Resa teorica	0,90	Kg/m ² x cm di spessore
Reazione al fuoco	Euroclasse B - s1, d0 (UNI EN 13501-1:2019)	-
Assorbimento d'acqua per capillarità	1,18 (categoria W0 - UNI EN 1015-18)	Kg/m ² min ^{0,5}
Resistenza diffusione vapore acqueo (μ)	≤ 15 (10,8)	-
Adesione	≥ 0,52 (Rottura di tipo B - UNI EN 1015-12)	N/mm ²
Densità	950	Kg/m ³

