

Indice

Abstract.....	4
Introduzione	5
1. La Canapa	7
1.1 La Pianta della Canapa.....	7
1.1.1 Fisiologia.....	8
1.1.2 Agronomia	10
1.1.3 Esigenze climatiche	11
1.1.4 Le tipologie di coltivazione.....	12
1.1.5 La qualità della fibra.....	12
1.1.6 Crescita della pianta e qualità dei suoli	13
1.1.7 Benefici ai terreni	14
1.2 Utilizzi della Canapa in vari settori	16
1.3 Lavorazioni.....	22
1.3.1 Lavorazioni nel passato	22
1.3.2 Lavorazioni Moderne.....	23
2. Storia della Canapa.....	29
2.1 La Canapa in Italia	29
2.1.1 Produzione ed esportazione nel '900.....	30
2.1.2 Il Declino della canapicoltura	32
2.1.3 Il ritorno della Canapa	37
2.2 Situazioni attuali	42
2.2.1 Francia	42
2.2.2 Regno Unito	43
2.2.3 Italia	44

3. Il biocomposito calce–canapa	49
3.1 Elementi di composizione	50
3.1.1 Canapulo	50
3.1.2 La Calce	51
3.1.3 L’acqua	54
3.2 La miscela.....	55
3.3 Miscelazione	56
3.3.1 Pompe a proiezione	57
3.3.2 Applicazione	59
3.3.3 Asciugatura	59
3.3.4 Finiture e rivestimenti.....	60
3.4 Proprietà e caratteristiche del composto.....	60
3.4.1 Isolamento termico	60
3.4.2 Respirabilità e resistenza all’umidità.....	66
3.4.3 Isolamento acustico	68
3.4.4 Sequestro del carbonio.....	70
3.4.5 Resistenza all’incendio	72
3.4.6 Protezione dalle infestazioni	73
3.4.7 Riciclabilità	73
3.4.8 Tossicità	73
3.4.9 Energia Incorporata	74
3.4.10 La resistenza a compressione	74
3.4.11 Densità	74
3.5 Confronti tra costruzioni in calce–canapa e materiali tradizionali	75
3.5.1 Studio LCA nella Tesi “Edilizia a basso impatto ambientale: analisi del ciclo di vita di materiali naturali a base di calce–canapulo” di Cristian Colombo e Ottavio Ruggieri	75
3.5.2 Tesi – La Canapa nell’Edilizia – Matthieu Narducci	84
3.5.3 Edificio sperimentale in canapa–calce (HemPod) dell’Università di Bath.	85
3.5.4 Tesi – “Valutazione energetica su edifici costruiti con materiali non convenzionali: la canapa” di Carmine Dedda.....	88
3.5.5 Il rapporto finale della costruzione in calce–canapa nell’ Haverhill (BRE 2002 e 2003).....	90

4. Protocollo ITACA Puglia	94
4.1. BREEAM	94
4.2 LEED.....	96
4.3 Protocollo ITACA.....	97
4.3.1 Protocollo ITACA Puglia	99
4.4 Esempi di tecnologie innovative.....	103
4.5 Casa HI-LOW	107
4.5.1 Elementi costitutivi.....	108
4.6 Protocollo ITACA Puglia della Casa HI-LOW	110
4.7 Analisi dei criteri	112
4.7.1 “B.4.6 Materiali riciclati/recuperati”	112
4.7.2 “B.4.7 Materiali da fonti rinnovabili”	112
4.7.3 “B.4.8 Materiali locali” e “B.4.9 Materiali locali per finiture”	112
4.7.4 “B.4.10 Materiali riciclabili e smontabili”	113
4.7.5 “B.4.11 Materiali bio-sostenibili”	113
4.7.6 “B.6.3 Trasmittanza termica dell’involucro edilizio”	113
4.7.7 “B.6.4 Controllo della radiazione solare”	114
4.7.8 “B.6.5 Inerzia termica dell’edificio”	114
4.7.9 “C.6 Impatto sull’ambiente circostante: effetto isole di calore”	114
4.7.10 “D.3.2 Temperatura dell’aria nel periodo estivo”	115
4.7.11 “D.4.1 Illuminazione naturale”	115
4.7.12 “D.5.6 Qualità acustica dell’edificio”	115
4.7.13 “E.6.1 Mantenimento delle prestazioni dell’involucro edilizio”	115
4.8 Considerazioni finali	116
Conclusione	117
Bibliografia	119
Appendice	123

Abstract

In questa tesi si parla della canapa come pianta e delle sue lavorazioni. Inoltre si ripercorre una panoramica sulla storia, concentrandosi sul '900 in Italia con le cause che hanno portato al suo declino.

Il terzo capitolo parla del biocomposito calce-canapa usato in edilizia, con relativa miscelazione e lavorazione, un'analisi approfondita di tutte le sue proprietà e, infine, vari confronti tra costruzioni in calce-canapa e materiali tradizionali.

Il quarto ed ultimo capitolo è la compilazione del Protocollo ITACA Puglia di un prefabbricato in calce-canapa: la Casa HI-LOW dell'azienda *Pedone Working* di Bisceglie (BT). Prima dell'analisi della stessa è presente una panoramica su altri protocolli di valutazione di sostenibilità ambientale.

Introduzione

La canapa è stata per decenni un prodotto di punta dell'economia italiana. La facilità di coltivazione (con tempi di crescita molto rapidi ed il non necessario utilizzo di pesticidi proprio in virtù dei tempi brevi che la contraddistinguono) insieme alle sue proprietà, l'ha resa una dei prodotti più versatili ed utilizzati nel nostro paese in molti campi. Dopo la crisi della canapicoltura e la sua successiva interruzione, l'uso di questo prodotto sostenibile ed ottimo dal punto di vista tecnico è stato abbandonato per decenni, per essere sostituito dai materiali, cosiddetti, tradizionali.

Per quanto riguarda l'edilizia, per via della crisi energetica e dell'uso quasi esclusivo di materiali non riciclabili, non provenienti da fonti rinnovabili (di origine vegetale o animale, cioè materiali in grado di rigenerarsi nel tempo) e non riciclati, l'impatto sull'ambiente da parte dell'edilizia è diventato un dato per nulla trascurabile.

È per questo motivo che si è cercato di trovare (o riscoprire, come nel caso della canapa) e di incentivare le tecnologie ecosostenibili. Uno dei mezzi usati per l'incentivazione è l'uso di protocolli di valutazione di sostenibilità ambientale, di cui andrò a parlare nell'ultimo capitolo, analizzando, nello specifico, il Protocollo ITACA e la compilazione di un prefabbricato in calce-canapa.

In questa tesi mi sono concentrato sulla canapa, inizialmente come pianta e come storia, per poi arrivare al biocomposito calce-canapa. Le sue notevoli proprietà e caratteristiche, sia tecniche che di sostenibilità, lo rendono uno dei materiali più promettenti nel panorama internazionale e, soprattutto, nazionale. Con il confronto tecnico svolto alla fine del terzo capitolo, evidenzio come il biocomposito calce-canapa, un prodotto ancora in fase di ricerca e di perfezionamento, riesce a superare per molti aspetti i materiali tradizionali, diventando un vero e proprio prodotto competitivo sul mercato.

Con la compilazione del Protocollo ITACA nel quarto capitolo di un prefabbricato in calce–canapa (nello specifico, la Casa HI–LOW progettata dall’azienda “*Pedone Working*” di Bisceglie (BT)), mostrerò un esempio del vantaggio, nel campo delle caratteristiche tecniche e di sostenibilità, che l’uso della calce–canapa (in questo caso, l’uso del *Natural Beton* dell’azienda “*Equilibrium*”) può sostenere.

1. La Canapa

1.1 La Pianta della Canapa

Il primo punto su cui soffermarsi quando si parla di canapa è la sua classificazione. Secondo la tassonomia ufficiale (rintracciabile su di un qualsiasi manuale di botanica o, ancor più semplicemente, tramite Internet), la canapa è inclusa nella famiglia delle Cannabacee o Cannabinacee, che a sua volta appartiene all'ordine delle Urticali. Le Urticali sono generalmente piante legnose o erbacee con fiori poco appariscenti, che possono essere riunite in gruppi oppure considerate isolate.

La famiglia delle Cannabacee è poi suddivisa in due generi: la *Cannabis*, che è il nome latino della canapa, e l'*Humulus*. Sono piante della flora spontanea dei paesi a clima temperato e, nel caso dell'*Humulus*, anche a clima temperato–freddo dell'emisfero boreale. Tutte le specie di Cannabacee, ed in misura maggiore la canapa, attraverso la formazione di particolari ghiandole, producono secrezioni contenenti un principio attivo, il tetraidrocannabinolo, meglio conosciuto con la sigla THC.

Esistono due diverse classificazioni della canapa. La prima, seguita dalla maggior parte dei botanici, è quella di D.E. Janichewsky (1924), un botanico russo che studiò vari esemplari di piante selvatiche e classificò la canapa in tre diverse specie:

- *Cannabis sativa*, alta fino a tre metri e dalla forma piramidale.
- *Cannabis indica*, più bassa e con un numero maggiore di rami e di foglie.
- *Cannabis ruderalis*, alta al massimo mezzo metro e priva di rami.

Alternativamente a questa e confermando la tesi dello svedese Carlo Linnè del 1753, i canadesi Small e Cronquist nel 1976 propongono una nuova classificazione, affermando che esiste una sola specie molto variabile, la *Cannabis*, che è poi composta da due sottospecie:

- *Sativa*, tipica dei paesi settentrionali e usata per la fibra e l'olio.
- *Indica*, tipica dei paesi caldi e ricca di resina e THC.

Partendo dalla considerazione che la canapa sativa, quella usata in campo tessile ed edile, nonché soggetto di questa tesi, e la canapa indiana (marijuana) siano piante tra loro molto simili, le classificazioni sopra menzionate mettono bene in evidenza qual è il nocciolo della disputa in campo accademico. Comunque, a prescindere da ciò, è stato ben evidenziato in diverse occasioni come la canapa sativa si mostri ricca di razze, aventi differenze riguardo la statura, il colore, la forma delle foglie, l'epoca della fioritura, la struttura ed il colore del seme. Quello che ne scaturisce è una grande variabilità morfologica e fisiologica; una differenziazione di varietà dovuta a fattori genetici, a fattori ambientali ed a fattori attinenti alle condizioni di coltivazione.

Nonostante rimanga vivo il dibattito accademico, la storia di questa coltura ha dimostrato come spesso le due differenti qualità di canapa siano state considerate come la stessa e come la legislazione della canapa indiana abbia poi influito sulle vicende di quella sativa. Con il supporto delle varie letture fatte sull'argomento, la canapa è da considerare fondamentalmente come un'unica specie, caratterizzata da una molteplicità di varietà, tra le quali alcune contengono il principio attivo chiamato THC.

1.1.1 Fisiologia

La canapa è una pianta erbacea, annuale e tessile (attribuito delle piante che, come la canapa, forniscono fibre idonee alla filatura, anche se, in definitiva, il ciclo di lavorazione non viene completato e non si perviene ai tessuti).

È dioica, ovvero esistono esemplari con fiori maschili ed esemplari con fiori femminili; è comunque possibile che si verifichino casi di ermafroditismo (monoica), cioè piante che portano sullo stesso stelo fiori maschili e fiori femminili.

È a fusto eretto, più o meno ramificato, vigoroso, dapprima piena e poi cava, alta da 1 a 4–5 metri, con struttura esagonale e ricoperta di peli. L'altezza varia a seconda delle varietà, delle condizioni pedologiche e climatiche, e ancora della densità di semina. Alcuni esemplari, in piemontese detti "lanse", superano anche i 7 metri. La sezione del fusto può variare da pochi millimetri ad alcuni centimetri. Il fusto è formato dal tiglio, una corteccia esterna di colore verde costituita da fibre tenute insieme da pectine, e da una parte interna detta canapulo, di colore bianco molto leggero. La fibra rappresenta il 25–30% del fusto ed è costituita per circa l'82% da cellulosa e per il 6% da lignina; il canapulo rappresenta il

70–75% ed è costituito da circa il 77% di cellulosa e da circa il 19% di lignina, di colore bianco.

Inoltre le fibre sono riunite in cordoni di varie dimensioni, rotondeggianti o allargati a nastro, che s'intrecciano tra di loro, formando intorno all'asse una rete piuttosto fitta.

Vengono distinte in primarie (o lunghe) e secondarie (o corte) in base alle loro dimensioni e struttura: le prime sono lunghe attorno ai 16 mm con pareti molto ingrossate; le seconde sono lunghe 2 mm e tanto lignificate da presentare il lume interno ostruito.

Più la pianta è grossa più la fibra è grossolana e robusta. Nella stessa pianta la fibra è più grossa verso la radice e più fine verso la cima.

La radice è un robusto fittone con esili ramificazioni laterali che si allungano considerevolmente fino al primo mese di crescita, quando prevale molto sul fusto; in seguito, quest'ultimo cresce molto rapidamente fino alla fioritura. Nei terreni sciolti arriva fino alla profondità di 150 cm.

Le foglie, dalla tipica forma, si trovano su ciascun nodo del fusto e sono spicciolate, palmate. Sono composte da 5–13 segmenti lanceolati, a margine dentato–seghettato, con punte acuminate, fino a 10 cm di lunghezza ed 1,5 cm di larghezza. Sono composte da un numero dispari di foglioline: dapprima da una, poi da 3, 5, 7, fino ad un massimo di 13, secondo la quantità di luce quotidiana.

I fiori sono raggruppati in infiorescenze (raggruppamento di rami che portano fiori, tipicamente osservabile nelle Angiosperme) e i fiori maschili si distinguono facilmente dai femminili.

I primi sono staminiferi, riuniti in numerosi grappoli che, a loro volta, formano un pennacchio. Il perigonio (l'involucro esterno, che racchiude la parte sessuale del fiore) è diviso in 5 parti con 5 stimmi. Cominciano a svilupparsi sull'ascella fogliare almeno 60 giorni dopo la germinazione. A fioritura completa lasciano cadere il polline, che viene trasportato dal vento sulle piante adiacenti.

Le infiorescenze femminili si formano sulle cime una decina di giorni dopo quelle maschili e assumono la forma a falsa spiga, grossa, diritta e a ciuffo, molto più compatta di quella maschile.

Il fiore femminile è verdognolo, mentre quello maschile ha petali giallo–verdi.

La distinzione tra le due piante è semplice anche durante il periodo dello sviluppo per la profonda diversità della infiorescenza, ed anche per lo sviluppo maggiore che quella femminile assume rispetto a quella maschile.

Comunemente la pianta femminile, quando aveva completato il ciclo di sviluppo, veniva erroneamente chiamata “maschio” o “canapaone”. Tale denominazione era dovuta al prodotto fibroso definitivo ottenuto dalle piante femminili.

La pianta maschile forniva del tiglio più pregiato. La pianta femminile era destinata alla formazione del seme.

L’impollinazione è anemofila (un tipo di impollinazione che utilizza come mezzo di dispersione il vento). La canapa è una delle piante che produce più polline (fino a 30–40 gr per pianta), formando così delle nubi che si alzano fino a 30 m e arrivano a 10 km di distanza.

La fioritura in Italia avviene verso la metà di Luglio. Le piante maschio cominciano a seccare dopo l’impollinazione e sono già secche nel mese di Agosto, mentre le piante femmina (i 2/3 della coltura) continuano a vegetare fino alla fine di Settembre ed oltre perché devono portare a maturazione il seme.

Il seme è prodotto dai fiori femminili ed è comunemente chiamato “seme di canapa”. È costituito da un frutto secco detto achenio, di colore grigio-verde ovoidale (lunghezza 3–5 mm, larghezza 2–3 mm). Il peso di 1000 semi varia tra i 20–30 gr per le varietà dioiche ed i 16–20 gr per le varietà monoiche. La maturazione del seme sulla spiga avviene in modo scalare. È molto delicato.

La pianta ha un breve ciclo di vita evolutivo: circa 120 giorni (da metà Marzo a metà Luglio). La qualità dipende dal clima. La produzione di canapa non richiede pesticidi e fertilizzanti, non recando danno all’ambiente, ed inoltre assorbe CO₂ dall’atmosfera rilasciando ossigeno.

1.1.2 Agronomia

La canapa è una coltura molto adattabile, che è stata e può essere coltivata in diverse condizioni pedologiche e climatiche, anche in collina e in montagna.

Per le necessità domestiche e delle aziende agricole, e ancora per gli usi militari (corde, tende, vele) è stata in passato coltivata in tutte le regioni italiane. Per gli usi industriali è stata coltivata soprattutto in Emilia e Campania, e per la produzione di semente in Piemonte.

Per quanto concerne la semina, si impiegano normali seminatrici da grano con distanza di 20 cm tra le file. È consigliato seminare con una densità di 50 kg/ha (chilogrammi di semina in un ettaro) se le colture sono destinate all'ottenimento di fibra tecnica. Se l'obiettivo invece sono fibre tessili, allora la densità può essere ancora maggiore. La densità scende invece a 25 kg/ha per le colture da seme.

Se la canapa viene seminata con una buona tecnica, in genere non è richiesto alcun diserbo. La concimazione si è dimostrata praticamente inutile nei terreni ricchi di azoto e con le vecchie varietà di canapa, anche se il terreno era povero di fosforo.

La canapa ama i terreni umidi ma muore se si verifica ristagno di acqua. Ha dimostrato di resistere alla carenza di acqua più di tutte le altre colture industriali. In particolare nel 2003 nella medesima località e con il medesimo terreno il mais non irrigato è morto, la canapa non irrigata ha prodotto il 20/30% in meno. La maggiore resistenza alla siccità viene attribuita al fatto che il fittone (le radici), arrivando a profondità notevoli, trova un grado di umidità sufficiente alla sopravvivenza della pianta.

1.1.3 Esigenze climatiche

Grazie al suo breve ciclo vegetativo ed alla molteplicità delle varietà esistenti, la canapa può adattarsi ai climi più diversi. Ad esempio, veniva coltivata in passato dagli oltre mille metri di altezza in Piemonte all'ambiente mediterraneo del sud Italia. I climi più favorevoli sono comunque quelli caldo-umidi delle regioni temperate, che consentono lo sviluppo di grandi masse di sostanza organica.

La germinazione del seme avviene a 8–10°C e le giovani piantine resistono meglio delle altre colture primaverili alle gelate tardive. Fiorisce intorno ai 19° C ed i semi maturano alla somma di 230°C, richiedendo quindi temperature gradualmente crescenti. Nel periodo che va dalla semina alla fioritura, i caldi precoci, specie se accompagnati da intensa aridità, sono nocivi poiché costringono le piante a fiorire prematuramente ed a rimanere quindi basse di statura. L'abbondante umidità le giova molto quando è coltivata su terreni permeabili, mentre è dannosa ove si presentano prolungati ristagni idrici che soffocano le radici.

Durante la maturazione dei semi, non solo resiste bene all'umidità dalla fioritura in poi, ma è più produttiva in presenza di piogge. Teme però i freddi autunnali precoci.

1.1.4 Le tipologie di coltivazione

A seconda delle esigenze qualitative del destinatario finale, il processo produttivo si differenzia sensibilmente in termini di tecnica colturale e relativi costi unitari.

- **La produzione tessile di alta qualità.** Consiste nel crescere piante molto lunghe, intorno ai quattro metri, e mantenere gli steli riuniti in fasci durante la raccolta e le successive trasformazioni di macerazione (che avviene in acqua) ed estrazione della fibra. È lo stesso procedimento della canapicoltura tradizionale che la ricerca si sta impegnando a rendere attuale, meccanizzando le varie fasi che altrimenti richiederebbero un carico di manodopera attualmente improponibile.
- **Produzione di fibra meno pregiata.** È questo un processo immediatamente realizzabile già con i comuni macchinari di fienagione e verso cui si è orientata attualmente la produzione Europea. Le piante vengono raccolte in balle tradizionali o rotoballe e quindi sottoposte a processi di estrazione della fibra meccanici e fisico-chimici, senza macerazione in acqua. Il prodotto ottenuto non è adatto alla filatura di pregio, ma consente l'ottenimento di materiali a costo molto basso.
- **La produzione di seme.** Prevede una permanenza della pianta in campo di un mese e mezzo circa in più rispetto alla maturazione tecnica della fibra. Il seme è attualmente il prodotto più semplice da trasformare e commercializzare, ma esistono problemi per l'esecuzione della trebbiatura. Le rese possono essere molto interessanti, ma la fibra che ne risulta è di qualità molto scadente perché i fusti diventano eccessivamente lignificati, al punto che possono sorgere serie difficoltà anche per il semplice sfalcio.

1.1.5 La qualità della fibra

Fermo restando che il clima e le tecniche colturali giocano un ruolo principale nel risultato finale, è da tenere presente che la qualità della fibra è determinata da:

- **Dimensione, diametro e ramificazione della pianta:** entro certi limiti, ad una maggiore lunghezza e sottigliezza dello stelo corrisponde una resa più elevata ed una migliore qualità della fibra. Lo standard produttivo per l'industria tessile richiede un diametro ottimale dello stelo di 6–7 mm, comunque non superiore ai 10

mm, ed una lunghezza non inferiore ai 250 cm. Essendoci una correlazione positiva anche tra il diametro dei fusti e la loro statura, è bene seminare in modo molto fitto in modo tale che i fusti si mantengano sottili e non ramifichino.

- **Epoca di raccolta:** il ritardo o l'anticipo della raccolta, quando è lieve, non reca danno; se si eccede, l'anticipo porta ad avere fibre fini, chiare, ma poco resistenti, mentre il ritardo fibre resistenti, ma scure, grossolane e destinate a dare molta stoppa.
- **Danni da avversità:** attacchi fungini e grandine possono indebolire o danneggiare la fibra o conferirle una colorazione grigio-bruna, mentre la presenza di malerbe provocano problemi durante le fasi di estrazione della fibra.
- **Varietà:** le canape che danno la massima quantità e la migliore qualità della fibra sono quelle giganti, caratteristica principale delle varietà dioiche ed in particolare di quelle italiane.
- **Sesso della pianta:** le piante maschili danno fibra più lunga, più fine e più morbida di quelle femminili. Sfortunatamente però non è possibile né determinare il sesso prima che esse siano già adulte, né agire sul rapporto fra maschi e femmine che risulta essere mediamente di 1:1,2.
- **Contenuto in fibra:** Esiste una correlazione negativa tra il contenuto in fibra e la qualità della stessa, in quanto viene ad aumentare la percentuale di fibre secondarie.

1.1.6 Crescita della pianta e qualità dei suoli

La qualità e la quantità della fibra prodotta risulta proporzionale alle condizioni di ospitalità del suolo in termini di fertilità fisica e nutrizionale. Per la canapicoltura, il terreno ideale, è un terreno molto profondo e privo di strati impermeabili, in modo da facilitare lo sviluppo dell'apparato radicale ed evitare i ristagni idrici, che risulterebbero letali per la vita della pianta. Sono preferibili i terreni sciolti, franco-sabbiosi, torbosi. La denominazione "terra di canapa" era infatti sinonimo di terra fertilissima.

Buone rese possono essere ottenute anche su terreni meno dotati. Sono da evitare i terreni argillosi, limosi e quelli dotati di scarsa sostanza organica che tendono a chiudersi quando ai periodi pioggia seguono periodi soleggiati e ventosi.

Bisogna prestare particolare attenzione alla giacitura dei terreni, in modo tale da garantire una buona esposizione, ed è necessario evitare eccessive pendenze per la conseguente difficoltà ad utilizzare i macchinari necessari alla raccolta.

1.1.7 Benefici ai terreni

Il periodo di semina precoce, la resistenza a stress biotici e l'alta efficienza nell'assorbire le radiazioni solari, fanno della canapa una coltura molto competitiva contro le erbe infestanti, permettendo così di evitare l'uso di erbicidi e pesticidi. Inoltre, la capacità di radicare in profondità rende la canapa una coltura poco esigente in termini di irrigazione e apporto di azoto. Tutto questo porta a dei benefici significativi a livello ambientale, rispetto ad altre colture da seme concorrenti, come il cotone.

Un numero significativo di studi ha attribuito la bassa richiesta di acqua e di fertilizzanti della canapa ed i miglioramenti apportati alla struttura del suolo ad una singolare capacità della canapa nello sviluppare le radici in profondità. Quindi, non solo la canapa risponde a molte delle preoccupazioni ambientali, riducendo i fattori di produzione agricoli richiesti, ma evidenzia inoltre una notevole capacità di radicamento in profondità, offrendo così delle valide opportunità di sequestrare in modo stabile notevoli quantità di anidride carbonica nel terreno.

È possibile quindi concludere che la canapa migliora i terreni. Dopo il passaggio di questa coltura sono infatti riferiti consistenti incrementi delle produzioni di cereali ed eccezionali performance delle colture orticole. Uno dei fattori è proprio dovuto all'azione delle sue radici. Con esse infatti, la canapa raggiunge profondità notevoli dove preleva i nutrienti che in seguito, spogliandosi delle foglie, in parte restituisce allo strato superficiale, determinando un'azione contro la desertificazione. A questo bisogna aggiungere l'azione meccanica svolta dalla radice, nonché la presenza nella pianta stessa di sostanze che hanno proprietà battericide e insetticide. La canapa inoltre protegge i terreni dal dilavamento e, durante la fase vegetativa, trattiene notevoli quantità di azoto prelevato dal terreno impedendone il percolamento in falda.

Un'ulteriore proprietà interessante della canapa è la sua capacità di fitodepurazione e fitoestrazione. Essa infatti è una pianta metallo-tollerante e come tale può crescere in terreni ricchi di metallo senza subire troppi danni durante il proprio sviluppo.

Proprio la sua alta resistenza ai metalli pesanti (soprattutto lo zinco e il piombo), la sua elevata biomassa e i rapidi tempi di crescita, le permettono di accumulare grandi quantità

di metallo in cicli abbastanza accelerati. Va ricordato, però, che esiste comunque la possibilità di riutilizzare tutti gli elementi della pianta, ciò perché i tessuti della pianta degradano e immobilizzano le scorie rendendole non più nocive. I contaminanti per i quali è possibile un intervento di fitodepurazione sono:

- Metalli pesanti (Cadmio, Cromo, Piombo, Cobalto, Nichel, Zinco)
- Specie radioattive (Cs, Sr, U)
- Solventi clorurati
- Idrocarburi policromatici
- Pesticidi
- Esplosivi (come il TNT o il Trinitotoluene)
- Sostanze emulsionanti
- Policloro bifenili

Rispetto ad un impianto di decontaminazione tradizionale, una tecnologia di fitodepurazione comporta determinati vantaggi:

- Minor impatto ambientale: uno dei vantaggi maggiori, dal momento che un impianto che possiede componenti esclusivamente vegetali non provoca squilibri nell'ecosistema in cui viene inserito, perché non comporta l'asportazione del substrato o l'imposizione di strutture non biocompatibili;
- Processo di depurazione più profondo e duraturo: un altro enorme vantaggio dal punto di vista ecologico è rappresentato dal fatto che i rifiuti inquinanti non sono semplicemente trasferiti in altri siti (come avviene spesso con le tecniche di depurazione tradizionali), ma vengono trasformati o degradati tramite processi che li rendono meno nocivi, oppure stabilizzati in modo da evitare possibili diffusioni rapide;
- Alta adattabilità al contesto: l'estrema adattabilità della formula fitodepurativa ai più diversi contesti rappresenta un vantaggio sia economico che ambientale, perché non rende necessario un intervento invasivo di modificazione fisica del suolo. Ancora, non trattandosi di un impianto meccanico, permette anche di evitare l'emissione nell'atmosfera di gas tossici quali anidride carbonica, anidride solforosa e biossido di azoto;

- Assenza di energia aggiunta: anche questo rappresenta ovviamente un vantaggio sia economico che ecologico; la fitodepurazione sfrutta infatti esclusivamente l'energia solare;
- Valore paesaggistico aggiunto: la scelta di adottare un impianto di fitodepurazione comporta, nei confronti del suolo contaminato, anche un importante valore estetico a livello paesaggistico, che non deve essere considerato un aspetto trascurabile. La copertura vegetale conferisce inoltre resistenza ai fenomeni erosivi del suolo che sono piuttosto frequenti in siti contaminati. Inoltre la canapa ha anche una significativa azione di aerofiltrazione, ovvero un processo che utilizza la parte aerea delle piante per filtrare e rimuovere gli agenti inquinanti dall'aria. Le condizioni di degrado e abbandono del nostro territorio e quanto detto sopra, aiutano a capire quanto sia indispensabile un intervento repentino mirato a diffondere la coltivazione, ripristinare la sua cultura e concentrarsi sulle sue indiscusse qualità ambientali per poter avviare un nuovo processo di educazione e salvaguardia del nostro territorio.

1.2 Utilizzi della Canapa in vari settori

Assocanapa, l'associazione di riferimento per i coltivatori di canapa, mette a disposizione sul suo sito una panoramica di quelli che sono gli usi ai quali può essere destinata la canapa o parte di essa:

Foglie/fiori:

- Tisane, birra alla canapa, caramelle;
- Olio essenziale, ricavato per distillazione, utilizzato in profumi e come aromatizzante per alimenti;
- THC ed altri cannabinoidi: uso farmaceutico in circa cento preparati medicinali.

Seme:

- Decorticato, viene utilizzato come alimento ad uso umano ed animale in quanto ricco di proteine;
- Esche per pesci;
- Olio ricavato da spremitura a freddo:
 - condimento per alimenti, utilizzato nella produzione di margarine, tofu, gelati e simili;

- integratore alimentare per uso nutraceutico (naturalmente ricco di omega 3 ed omega 6);
- utilizzato nella produzione di cosmetici e detergenti per l'igiene del corpo.
- Olio prodotto con processi chimici per fabbricazione di:
 - Detersivi;
 - Inchiostri per stampa;
 - Colori ad olio;
 - Tinte per esterni di edifici;
 - Lubrificanti;
 - Solventi;
 - Mastici;
 - Biodiesel;
 - Combustibile.
- Farina ricavata da spremitura a freddo (panello): uso alimentare umano ed animale, non contiene glutine.

Fibre:

- Fibra lunga macerata di pregio per filatura ad umido:
 - Tessuti, abbigliamento, arredo casa, calzature, accessori, tele per dipinti.
- Fibra lunga macerata meno pregiata:
 - Cordami, anche per arredamento;
 - Reti, sacchi;
 - Teloni, tessuti per rinforzo di plastiche petrolchimiche in sostituzione della lana di vetro (imbarcazioni), rinforzo per PLA;
 - Rista per avvolgimento di tubazioni: fibra corta macerata derivante da scarto della pettinatura della fibra lunga;
 - Filati per tappeti e maglieria;
 - Imbottitura di materassi;
 - Pasta di cellulosa per carte speciali (tipo la carta moneta e la carta dei titoli di stato);
 - Pasta di cellulosa per cartine di sigarette;
 - Cartoni ed imballaggi;
 - Pannolini;

- Blocchi stampati in pressofusione;
- Guarnizioni per i freni.
- Fibra corta semimacerata:
 - Pannelli isolanti e fonoassorbenti per edilizia, termosaldati con poliestere, amido di patate ed altri amidi;
 - Geotessili per pacciamature;
 - Imbottiture per auto.
- Canapulo:
 - Intonaci e cappotti isolanti per edifici, blocchi da costruzione costituiti da canapa e calce;
 - Mangimi per ruminanti;
 - Lettiere per cavalli e piccoli animali;
 - Pannelli rigidi per l'interno auto (cruscotto);
 - Pannelli rigidi per la fabbricazione mobili;
 - Pellet/brichette di qualità;
 - Esplosivi;
 - Materiale per la disoleazione di acque inquinate.

Analizzandone alcuni nello specifico (fatta esclusione del campo edile, che verrà largamente approfondito successivamente):

Cartaceo

Analizzando dapprima i suoi possibili utilizzi industriali, tratteremo ora l'uso della canapa nella produzione di cellulosa e di carta. La più antica testimonianza di un foglio di carta fatto con la canapa risale al 2700 a.C. nella provincia di Shen Nung, in Cina: gli archeologi vi hanno ritrovato un frammento di 10 centimetri quadrati.

I Cinesi, che furono i primi a fare carta nel mondo, per fabbricarla utilizzavano la canapa; questi trasmisero la conoscenza dell'arte di fare carta agli Arabi, i quali a loro volta lo insegnarono a noi Europei. La Bibbia di Gutenberg, le opere dei maggiori scrittori, e persino il primo abbozzo e la seconda stesura della Dichiarazione d'Indipendenza degli Stati Uniti, furono scritti e stampati su carta di canapa. Questa, avendo una fibra forte e lucida, in grado di resistere al calore, alla muffa ed agli insetti, veniva anche utilizzata per fare le tele adatte alla pittura; così Rembrandt, Van Gogh ed altri celebri artisti la

utilizzarono per i loro quadri. Come è già stato affermato, con l'avvento della rivoluzione industriale e con la conseguente meccanizzazione la richiesta di carta aumentò, e si decise per l'utilizzo della cellulosa proveniente dagli alberi: fu così che l'utilizzo della canapa venne presto accantonato e dimenticato. Negli ultimi due decenni si è mostrato però un rinnovato interesse, dovuto in gran parte a motivi ambientali: in tutto il mondo molte foreste primarie sono state distrutte per produrre carta, ed il costo ambientale pagato è stato enorme. La canapa diventa, così, una fonte alternativa per questa industria. Per fabbricare carta si utilizzano sia la parte fibrosa che quella legnosa (canapulo) della canapa; con la prima si produce carta d'alta qualità, sottile e resistente, con la seconda carta da giornale e cartoni. La canapa, come già detto, produce una massa vegetale di tre-quattro volte superiore a quella delle foreste, e grazie alla minore presenza della lignina e di sostanze leganti è più facile da delignificare. Inoltre, le grandi cartiere, che impiegano solamente il legname degli alberi, per produrre pasta di carta utilizzano un processo in cui si prevede l'uso massiccio di acidi, che provocano inquinamento; questa operazione con la carta ottenuta dalla fibra di canapa non è necessaria, mentre se si utilizza la parte legnosa, di acidi ne servono la metà. Nel 1991, la produzione mondiale di polpa di canapa è stata di 120.000 tonnellate, valore pari al 0,05% del volume totale; la polpa di canapa è in genere mescolata con altre polpe, e tuttora non esistono produzioni considerevoli di carta al 100% di canapa.

Nonostante una produzione così modesta, le cartiere che utilizzano canapa continuano a lavorare grazie agli utilizzi molto speciali di questo prodotto; questa viene infatti utilizzata per produrre tipi di carta particolari come la carta da sigarette (le marche più conosciute presentano il 50% di carta e filtro prodotti con la canapa), la carta di sicurezza, la carta isolante, vari tipi di carta artistica particolare, i filtri per i caffè ed i sacchetti del tè.

Il motivo principale per cui è molto difficile utilizzare la canapa per la produzione della polpa e della carta è che la tecnologia attuale è stata pensata ed ottimizzata per la produzione di fibra legnosa, e quindi per poter essere applicata alla fibra di canapa bisognerebbe riconvertire gli impianti. Inoltre, dobbiamo anche considerare l'alto costo della polpa di canapa, che è approssimativamente cinque volte superiore alla polpa di legno. Per aumentare l'utilizzo della canapa in questa industria, si ha bisogno di una nuova tecnologia, di sperimentazioni e di grandi investimenti capaci di svilupparla.

Bioplastica

La canapa può anche essere utilizzata nella fabbricazione di bioplastica; dalla cellulosa, di cui la pianta è ricca, attraverso un processo di polimerizzazione, si possono ottenere materiali plastici degradabili.

Anche se in molti casi non possono competere con le sofisticate materie plastiche di oggi, possono essere utilizzati come isolanti e per l'imballaggio, in sostituzione del polistirolo e di altri materiali derivati dal petrolio. La Hemp Food Industry Association (HFIA) ha sviluppato un materiale plastico composto per il 25% di canapa, chiamato "high fly"; l'obiettivo per il futuro è quello di produrre plastica basata al 100% sulla fibra di canapa. La canapa può andare a sostituire la plastica nella produzione di pannoloni e pannolini, per la quale l'Italia importa annualmente dai paesi nordici e dalla Russia un milione di tonnellate di cellulosa di abete: ci sono infatti pannolini composti da sola canapa e cotone.

Carrozzerie per auto

Grazie a proprietà come l'alta resistenza, può essere utilizzata anche per la fabbricazione dei pannelli rinforzati di canapa per auto. La disposizione europea secondo la quale sempre più crescenti percentuali delle componenti di automobili, frigoriferi e di altri futuri rifiuti ingombranti devono essere costituiti da materiali degradabili, ha reso possibile una rinascita dell'interesse per l'utilizzo della canapa anche in questo campo. L'industria dell'automobile è la più interessata, poiché le norme della Comunità Europea obbligano l'utilizzo di fibre naturali per almeno il 12% dei componenti; già da anni BMW, Mercedes e Volkswagen utilizzano canapa, insieme ad altri materiali, per le imbottiture delle portiere, la costruzione del volante ed il tettuccio. I vantaggi tecnologici sono ben evidenti: smorzamento del suono, maggiore resistenza e migliori proprietà di rottura. Inoltre, la canapa può essere utilizzata anche nella costruzione della carrozzeria, seguendo l'esempio di Henry Ford che nel 1934 costruì un prototipo, il quale, oltre all'interno, anche all'esterno era fatto di canapa, rendendo l'automobile un terzo più leggera.

Biomassa

La canapa, per la sua alta resa in massa vegetale, è considerata anche la pianta ideale per la produzione di combustibili da biomassa in sostituzione dei prodotti petroliferi. Attraverso un procedimento di pirolisi o compostaggio biochimico, la canapa può essere

trasformata in un combustibile. Le proprietà di questo tipo di combustibile è già noto, e questa realtà si sta sviluppando anche nel nostro paese con incentivi sulla sua produzione.

Lattiera per bestiame

Come detto in precedenza, dopo che le fibre sono state rimosse dallo stelo, resta ancora circa il 70% della pianta, ossia la parte legnosa chiamata canapulo: è molto assorbente, circa dodici volte di più rispetto alla paglia, e può assorbire liquidi per più di cinque volte il suo peso. In Francia è stato commercializzato dalla cooperativa “La Chanvriere de l’Aube”, come lettiera per bestiame con il marchio di fabbrica “Aubiose” già da parecchi anni, come anche in Italia da una decina d’anni dalla già citata Assocanapa s.r.l. Questo prodotto viene utilizzato specialmente per i cavalli da corsa, mentre le parti più piccole del canapulo come lettiera per i gatti.

Alimentare: olio e farina

La canapa può essere industrialmente utilizzata non solo per la sua fibra e per la parte legnosa, ma anche per il seme. Oltre che a contenere proteine di elevato valore biologico nella misura del 24% ed un olio tra il 30 ed il 40%, i semi di canapa possiedono un alto valore nutritivo, e sono stati proposti come un possibile rimedio per la carenza di proteine nei paesi in via di sviluppo. L’olio è ricco di grassi insaturi, e quindi ideale per prevenire le malattie del sistema cardiocircolatorio.

La farina è un prodotto che attualmente sta affrontando uno sviluppo soddisfacente in Italia, con richieste sempre maggiori da pizzerie e panetterie.

Tessile

Il campo tessile ha rivestito un ruolo centrale nella storia del materiale e le più grandi difficoltà nella produzione della fibra di canapa utilizzata in campo tessile riguarda le lavorazioni di scissione della parte fibrosa dal canapulo.

In Italia oggi esiste un solo impianto di filatura ad umido, che appartiene al Linificio Canapificio Nazionale, alimentato per la canapa prevalentemente da fibra cinese.

Le attività di filatura in genere sono state trasferite nell’Est Europa, in Estremo Oriente e più di recente in Africa.

La fibra di canapa che si fila nel mondo oggi proviene soprattutto dalla Cina, mentre in alcuni stati del Sud America (come il Cile ed il Perù) le coltivazioni di canapa alimentano l'artigianato locale.

La fibra di scarto della pettinatura viene filata ottenendo filati di titoli bassi, che si utilizzano per la maglieria ed i tessuti per tende, tappeti, ed abbigliamento. La maggior parte di questa fibra però va alla produzione di pasta di cellulosa ad uso cartario.

La fibra macerata più grossolana può essere impiegata per fabbricare corde di diversa dimensione, oggi ricercate per l'arredamento.

1.3 Lavorazioni

1.3.1 Lavorazioni nel passato

Il lavoro del contadino partiva con la preparazione del terreno con una serie di arature. Pur essendo una coltura che si adattava a terreni molto diversi, la canapa preferiva quelli ben sistemati in modo da assicurare un perfetto sgrondo delle acque piovane, abbondanti soprattutto nella stagione primaverile. Difatti, l'acqua ristagnante in superficie arrestava lo sviluppo vegetativo delle piante, provocando quel fenomeno chiamato dagli agricoltori emiliani "inchiodatura".

Successivamente seguiva la concimazione del terreno mediante abbondanti spargimenti di letame, integrati con l'aggiunta di pannelli di semi oleosi detti "panadelle". Si pensava che questi interventi dessero quella lucentezza e quella finezza al filo che rendevano la canapa emiliana la migliore. Solitamente la semina avveniva a mano nei primi giorni di Marzo.

Dalla fine di Luglio ai primi di Agosto partivano le operazioni di raccolta. Queste venivano eseguite a mano tramite un falchetto. Le piante tagliate venivano raccolte in piccoli manipoli e lasciate sul terreno per 5-6 giorni al fine di essere essiccate. Successivamente i manipoli venivano sbattuti con l'obiettivo di liberare le piante da ogni residuo di foglie e di infiorescenze. Dopo essere stati lasciati al sole per 3-4 ore, i fasci venivano sollevati in verticale ed uniti tra loro a formare tante capanne di forma conica e del diametro di 2-3 metri, chiamate "pile" o "prille".

Finita la "stagionatura", iniziava la "tiratura". La canapa veniva distesa su un cavalletto, chiamato "bancata", alto circa 50 cm da terra e lungo 3 metri con all'estremità due pioli che servivano a non far cadere le piante a terra. Disposte in tal modo, le piante venivano pareggiate battendole alla base con una apposita spatola. Seguiva la formazione di fasci costituiti da steli di uguale lunghezza. Iniziava a questo punto la fase della "macerazione"

al fine di estrarre le fibre dalla pianta. I fasci venivano posti per 6–9 giorni in vasche piene d'acqua dette “maceri” o “maceratoi”. In particolare, venivano sovrapposti in due strati, formando così delle zattere che dovevano essere completamente sommerse, senza però che toccassero il fondo. Una volta estratte dall'acqua, i fasci venivano messi in verticale formando delle capanne in modo che l'acqua sgrondasse bene. Venivano poi stesi su un campo d'erba per 2–3 giorni affinché si asciugassero e si essicassero. A questo punto iniziava l'operazione di “stigliatura”, ovvero l'operazione di separazione della fibra dalla parte legnosa. Essa iniziava con un'operazione detta “scavezzatura”, la quale consisteva nel percuotere la pianta in modo da rompere e allontanare il nucleo legnoso. Dopodiché si procedeva con la “gramolatura” al fine di rendere la fibra morbida e fine, togliendo anche i più piccoli canapuli. In Emilia si utilizzava il “grametto”, ovvero un cavalletto in legno il cui elemento longitudinale era incavato con una o due scanalature, a modo di rotaia, che riceveva un corrispondente elemento mobile. Questo, definito “gramile”, si adattava perfettamente alla scanalatura stessa quando veniva abbassato ritmicamente. Infine si concludeva il lungo iter della canapa con la “scotolatura” consistente nel far passare la fibra attraverso un piccolo pettine di legno, liberandola dagli ultimi residui legnosi e rendendola ben liscia e pronta per le successive operazioni. A questo punto si era ottenuto la materia prima grezza, pronta per essere lavorata per ottenere il prodotto finito.

1.3.2 Lavorazioni Moderne

Con la rivalutazione di questa pianta, ci si è trovati davanti al problema dei macchinari. Innanzitutto si è verificato che si possono stigliare (liberare le fibre dagli steli) le bacchette di canapa utilizzando le macchine da lino, ma la diversa taglia delle piante impone un intervento per ridurre la lunghezza delle bacchette che dovranno essere lunghe un minimo di 90 cm e un massimo di 110 cm, per poter essere lavorate dai sistemi di stigliatura e perché in seguito le fibre possano essere pettinate negli impianti di filatura. Si è scelto di tagliare le bacchette alla misura desiderata già in fase di raccolta, seguendo poi la stessa procedura in uso nella raccolta del lino per quanto riguarda l'andanatura, la rivoltatura e il rotoimballaggio.

In Francia ed in Italia, Emilia Romagna, è stato anche provato un metodo che blocca la crescita della pianta, irrorando glyphosate, un prodotto disseccante, quando questa raggiunge la stessa altezza del lino, 1,2–1,4 m. Questa canapa è stata battezzata “*baby hemp*”, per le sue dimensioni.

È comunque preferibile applicarsi alla progettazione e modifica delle macchine di raccolta della coltivazione che viene fatta crescere alla sua taglia normale, 2–2,8 m, piuttosto che intervenire con trattamenti chimici, perché i dati ci dimostrano che oltre a ridurre considerevolmente la quantità del raccolto e ad aggiungere costi economici ed ambientali, si ottiene fibra di qualità peggiore, dato che lo sviluppo della pianta non è completato.

Oltre al problema dell'altezza, i fusti delle varietà di canapa italiane hanno la caratteristiche di essere molto resistenti, quindi di qualità migliore, ma anche di lavorazione più difficile. Per questo motivo, macchinari messi a punto in altri paesi non sono potuti essere applicati alla lavorazione delle varietà italiane.

Le fasi di lavorazione sono:

- Raccolta;
- Taglio;
- Macerazione;
- Andatura;
- Rotoimballatura;
- Separazione;
- Tranciatura–pulizia;
- Imballaggio.

Di seguito approfondirò alcuni di questi processi.

1.3.2.1 Raccolta e rese produttive

Le tecniche di raccolta ed i tempi variano in base all'utilizzo successivo della pianta:

- *Canapa da fibra tecnica.* A fine Agosto si falcia con falciatrice normale (non rotofalce). Si lascia in campo per 30/40 giorni per una prima macerazione e si rotoimballa. Oppure si lascia in campo fino ad Ottobre/Novembre e si rotoimballa direttamente (però si perde parte del canapulo)
- *Canapa da seme.* A fine Settembre/inizi di Ottobre si trebbia con mietitrebbia modificata appositamente.
- *Canapa da fibra tessile.* A Luglio (prima della fioritura) si taglia con apposito macchinario e si rotoimballa con pressa da lino.

- *Fibra/canapulo*. In passato e con le varietà italiane la resa media in sostanza secca (13% di umidità) dei terreni migliori era stimata in 130 q/ha. In recenti sperimentazioni condotte dall'Università di Pisa con la varietà Carmagnola si sono superati i 160 q/ha.
- *Seme*. Il processo di maturazione del seme è piuttosto lungo e giunge a compimento generalmente un mese dopo la fecondazione. La raccolta del seme deve tener conto della maturazione disomogenea che segue lo stesso andamento della fioritura, cioè dal basso verso l'alto della pianta e dall'estremità verso la base dei rami. Non è prudente ritardare molto la raccolta per attendere la maturazione degli ultimi semi perché, a maturità completa, essi si disarticolano facilmente dalla pianta e cadono. Inoltre gli ultimi semi, essendo sempre di scarto, andranno in ogni caso eliminati mediante selezione per grossezza. La resa media in seme delle varietà dioiche varia da 4 a 8 q/ha a seconda delle varietà e delle condizioni pedoclimatiche.

1.3.2.2 Taglio

Per la produzione di fibra tecnica e canapulo la pianta andrebbe falciata al raggiungimento del massimo sviluppo, che avviene verso fine Agosto, inizio Settembre.

La lunghezza ed il diametro della pianta sono tali da rendere impossibile il rivoltamento con i consueti mezzi meccanici utilizzati per la fienagione e questo rende meno uniforme e più difficoltosa la disidratazione delle piante, che se in superficie possono sembrare ben secche, negli strati sottostanti possono contenere ancora un elevato contenuto di acqua. La metodologia di taglio più semplice prevede la falciatura delle piante con una barra bilama, accompagnata da un convogliatore che dispone gli steli già in andane.

1.3.2.3 Macerazione

La fase di macerazione in acqua, indispensabile per la fibra tessile, non è necessaria per la fibra tecnica per la quale la macerazione avviene direttamente in campo, con tempistiche che variano generalmente fra i dieci ed i venti giorni in funzione del clima.

Durante il periodo di essiccazione è necessario procedere a periodiche ranghinature per accelerare il processo ed evitare ammuffimenti delle parti a contatto col terreno.

Al momento della raccolta l'umidità presente nelle piante non dovrebbe superare il 18% del peso. (Madia & Tofani, 1998).

1.3.2.4 Andanatura

La fase di andanatura andrebbe effettuata diversi giorni prima della pressatura per permettere un migliore essiccamento sollevando le piante sottostanti; successivamente avviene la fase di rotoimballatura.

1.3.2.5 Separazione di fibra e canapulo

Attualmente la fase di separazione comporta alcune problematiche legate agli alti costi e all'ingombro dei macchinari utilizzati. Si tratta di impianti ottenuti tramite adattamenti di macchinari per la stigliatura del lino costituiti da pianali di rulli metallici contrapposti lunghi 40–50 m, che schiacciano gli steli frantumando il canapulo e liberando la fibra. Oltre ad avere un costo molto alto (circa 2 milioni di euro nel 2010) questi macchinari necessitano di una superficie di almeno 1200 mq. Per ovviare a queste problematiche è stato messo a punto un nuovo macchinario specifico per la separazione di fibra e canapulo destinati al settore edile e all'industria plastica (Delmastro & Robiola, 2010).

1.3.2.6 Trinciatura

Il canapulo che esce dalla parte centrale dell'impianto di sfibratura, viene convogliato in un mulino che lo sminuzza, poi viene vagliato per ottenere le pezzature richieste attualmente dal mercato (di 6, 8 e 15 mm) e infine viene ancora depolverato e confezionato in big bag oppure in confezioni da 20 kg.

1.3.2.7 L'impianto di prima trasformazione

Il nuovo impianto di prima trasformazione disponibile oggi in Italia è stato brevettato da Assocanapa nel 2010. Viene usato per il trattamento di paglie di canapa macerata in campo per 30/40 giorni, con un'umidità massima del 13% e una purezza minima del 98%. Viene trattata una quantità di materia pari a 6/8 q.li/ora, ottenendo inizialmente delle rotoballe di paglie di canapa alte 120 cm, con un diametro di 130/140 cm e del peso di 2.5/2.8 quintali. Alla fine della lavorazione si ottiene un 20/25% di fibra corta, un 70/75% di canapulo e un 5% di polveri. Si ottiene un grado di pulizia del 90/95% per le fibre e dell'87/95% per il canapulo.

L'intero impianto è composto da tre moduli più console di comando:

- Modulo alimentazione;
- Modulo separazione;

- Modulo pulizia.

- *Modulo di alimentazione*

Le rotoballe vengono poste mediante l'utilizzo di un muletto o di trattore con forche su un pianale elevabile idraulicamente che è incernierato alla struttura principale del modulo. La rotoballa viene sfaldata da denti metallici posizionati sulle traverse di una catenaria estesa in altezza. Le bacchette strappate cadono per gravità e vengono convogliate al modulo di separazione da un nastro trasportatore in gomma, chiuso nella parte inferiore per evitare eventuali perdite di materia prima.

Sia il nastro trasportatore che la catenaria di estrazione sono posti in movimento da motori idraulici indipendenti. La velocità di estrazione della catenaria e quella di movimento del nastro trasportatore sono regolabili dall'operatore in modo da ottimizzare l'afflusso di materia prima al modulo di separazione.

- *Modulo di separazione*

Le bacchette estratte dal modulo di alimentazione vengono forzate entro un sistema costituito da un telaio perimetrale all'interno del quale sono alloggiati tre battitori e i relativi controbattitori.

La materia prima proveniente dal modulo di alimentazione viene diretta verso il primo rotore che opera una prima frammentazione delle bacchette di canapa ed una prima grossolana sfibratura. La canapa viene poi convogliata al secondo battitore nel quale viene sminuzzata e separata dalla fibra. Nel terzo battitore si ottiene la definitiva scissione della parte fibrosa dal canapulo.

Il canapulo e la fibra vengono infine espulsi dal modulo di separazione e convogliati nel modulo di pulizia. L'ampiezza dello spazio tra i rulli e griglie di separazione può essere regolata in modo da permettere di lavorare diverse tipologie di prodotto. Le spranghe di contrasto sono installate singolarmente ed estraibili, in modo da consentire interventi di manutenzione in caso di rotture od usure.

- *Modulo di pulizia*

Il modulo finale di pulizia è costituito da un vaglio rotante inclinato sotto il quale si muove un nastro trasportatore che raccoglie e movimentata i frammenti di canapulo.

Il vaglio è posto in rotazione da un motore idraulico e da una catena con relativo

tenditore che si impegna sulla corona dentata saldata lungo la circonferenza del pulitore.

Il nastro trasportatore, costituito da un tappeto in gomma, convoglia il canapulo in un apposito serbatoio munito di coclea che estrae e trasporta la materia prima verso il traliccio che sostiene i contenitori di stoccaggio (big bags).

Il grado di pulizia ottenuto per la fibra, pari in media al 90,4% è adeguato per la produzione di pannelli di buona qualità.

2. Storia della Canapa

Individuare con precisione il paese d'origine di piante che l'uomo, da tempo immemorabile, ha diffuso ovunque ne sia possibile la coltivazione (come nel caso della canapa) è impossibile. Un'indicazione utile però ci viene offerta dal fatto che nell'immensa area che va dal basso Danubio alla Cina settentrionale, le piante di canapa fioriscano spontaneamente: ciò conferma l'origine asiatica di questa pianta.

Furono gli Sciti a portare la canapa in Europa in tempi molto remoti, forse attorno al 1500 a.C., durante le loro migrazioni spinte sino alle foci del Danubio e nell'Asia Minore. Più tardi, Germani e Slavi ne estesero la coltivazione in Svezia, Finlandia, Lituania. I Greci e i Romani la portarono prima a Roma e poi nelle Gallie.

Proprio dalla Gallia, nel 300 a.C., il tiranno di Siracusa, Gerone II, si forniva della canapa necessaria alle sue navi.

2.1 La Canapa in Italia

Già ai tempi dei Romani, la canapa era utilizzata in campo militare per costruire vele e corde per le imbarcazioni, utilizzo che è poi continuato fino al XIX secolo quando furono inventati i battelli a vapore.

Furono le legioni romane ad introdurla in Piemonte, dove era presente già nel 600 d.C. nella zona dell'odierna Casanova, per passare poi successivamente nel Carmagnolese e nel Canavese che da essa prende il nome.

Nell'antichità classica la canapa era scarsamente diffusa, con un uso ristretto all'ambito domestico. La vera e propria affermazione avvenne nei primi secoli del Medioevo, al sorgere della civiltà dei comuni intorno al XI secolo, quando coltivazione e lavorazione si erano ormai largamente diffuse nella pianura padana, soprattutto in Emilia e particolarmente nel Bolognese, che, a quel tempo, era il maggiore centro di produzione italiano.

L'interesse degli abitanti di questi paesi vennero a coincidere con l'interesse pubblico di Venezia, e una serie di normative diedero il via a bonifiche ed a espropri dei beni comunali, creando così una produzione agricola volta al mercato, un vero e proprio capitalismo della campagna. Quanto alle regioni settentrionali, vi era il Piemonte, ed in particolare la zona di Carmagnola, dove si alimentavano vivaci commerci regionali ed importanti esportazioni di fibre e manufatti verso Genova e gli altri porti della Liguria. Qui, durante il XVII secolo, con l'inizio della produzione e della commercializzazione delle corde, vi fu una notevole migrazione di mastri cordai nella vicina Francia, e nel borgo di Viurso: aprì nel 1617 la prima fabbrica per la produzione di corde destinate all'esercito sabauda.

Ben si evidenzia l'importanza attribuita alla pianta nell'ambito domestico: infatti, dopo aver estratto la fibra, si potevano fabbricare vestiti, fili e cordami per vari impieghi, mentre con il seme essiccato si cucinavano zuppe e decotti.

Dall'espansione basso medioevale, la coltura assunse sempre più prestigio, favorita anche dalla crescita dell'artigianato.

In Italia, alla fine dell'800, era del tutto normale acquistare in Farmacia l'estratto di canapa indiana proveniente da Calcutta ed i sigaretti di canapa indiana per curare l'asma. Per alleviare le sofferenze di questi malati esistevano persino dei gabinetti d'inalazione che venivano riempiti con il fumo della canapa bruciata. All'inizio dell'800, fino all'arrivo delle sigarette americane, nelle campagne in mancanza di tabacco si usava la canapa. Ma questo era segno di povertà.

2.1.1 Produzione ed esportazione nel '900

L'Italia è stata la seconda nazione al mondo per la produzione della canapa, ed era rinomata come la migliore per qualità. Il primo posto è stato sempre tenuto dalla Russia. Seguivano, a distanza notevole, la Polonia, l'Ungheria, la Jugoslavia (Croazia e Slovenia) e la Corea.

Nel corso del decennio 1903–1912, il professor Ulderigo Somma, nel suo libro "La Canapa" del 1923, ha raccolto dei dati di notevole interesse:

	Ettari coltivati	Quintali di prodotto	Media per ettaro
Russia	686197	3440579	5
Italia	79477	795000	10
Russia asiatica	66917	297049	4,5
Ungheria	65192	587954	9
Francia	17214	147266	8,7
Giappone	13518	94893	7,1
Serbia	14025	67025	4,8
Romania	5678	19035	3,4
Bulgaria	3015	9769	3,3

In Italia la coltura di canapa era sviluppata in Emilia, Campania e Veneto.

Inoltre, soprattutto nella prima metà del '900, la canapicoltura italiana assumeva rilevanza notevole sul piano del commercio con l'estero.

Nello specifico, prendendo i dati nel 1914 delle varie regioni Italiane:

Province	Superficie [Ettari coltivati]	Quintali prodotti	Produzione per ettaro
Ferrara	30.000	363.000	12
Bologna	11.500	145.800	12,5
Rovigo	8.900	102.800	11,5
Ravenna	1.800	16.700	9
Forlì	1.700	18.00	10
Modena	2.400	32.000	13
Torino	1.400	12.700	9
Cuneo	600	6.100	10
Caserta	15.800	157.200	10
Napoli	8.400	89.000	10,5
Altre località		18.700	

Nella tabella sottostante si nota il rapporto tra produzione ed esportazione in questo mezzo secolo (sia sottoforma di materia greggia, sia di canapa lavorata):

	Produzione [Migliaia di quintali]	Esportazione [Migliaia di quintali]	Differenza [Migliaia di quintali]	Esportazione [% di produzione]
1900–13	835	602	231	73
1926–29	949	763	186	80
1930–33	648	567	81	87
1934–38	888	425	468	48
1948–52	693	313	380	45
1948	768	313	567	26
1949	705	364	341	52
1950	664	348	316	52
1951	651	421	230	65
1952	677	229	448	34

2.1.2 Il Declino della canapicoltura

Anno	Superficie coltivata [Ettari]	Produzione [Quintali]
1870–74	135.000	965.000
1879.83	120.000	853.000
1890–1900	103.857	739.857
1914–1920	89.871	915.714
1921–1925	77.570	783.000
1926–1930	90.258	941.774
1931–1935	59.371	593.842
1936–1940	86.532	1.130.414
1941–1945	75.462	802.856
1950–1955	47.625	580.475
1956–1960	22.000	223.276
1960–1970	7.928	86.213

Fonti:

1870–1900 : A. Dell’Orefice, Note sulla canapicoltura nel Mezzogiorno d’Italia durante il XIX secolo, Napoli, 1983, pag. 25.

1914–1920 :P. Rossi, La canapa: ciò che insegna la canapicoltura di Terra di Lavoro agli agricoltori umbri, Spoleto, 1927, pag. 97.

1921–1945 : Enciclopedia Motta, volume Piante, alla voce “canapa” a cura del professore Francesco Crescini, Milano, 1977.

1950–1970 : S. Capasso, Canapicoltura e sviluppo dei Comuni atellani, Frattamaggiore, 1994, pag. 21.

Dal 1870 al 1970 inizia un’inesorabile declino della produzione di canapa, ad eccezione di un enorme picco alla fine degli anni ‘30. Sino al 1953, la produzione ha tenuto soddisfacentemente, soprattutto nelle due regioni di maggior interesse, ossia l’Emilia e la Campania. Il declino cominciò a manifestarsi nel 1954, che si concluse con il tramonto di una delle fibre tessili che, da tempo immemorabile, aveva avuto un peso non indifferente nell’economia italiana.

La crisi si era manifestata maggiormente nelle regioni settentrionali (già nel 1938 non si produceva più canapa in Val Padana), mentre in Campania sino al 1964 era stata opposta una certa resistenza alla recessione, nella speranza di una ripresa che appariva sempre più impossibile.

Ne conseguì che, mentre questo evento non rappresentò difficoltà insormontabili per i grossi agricoltori, che passarono rapidamente a colture diverse, o per gli industriali del settore, che non tardarono ad adeguare i loro impianti alla lavorazione di fibre sostitutive, costituì invece un autentico dramma per i lavoratori del settore, specialmente per quelli più anziani, per i piccoli artigiani e per le caratteristiche filatrici, che videro svanire quella pur minima, faticosa ma importante fonte di reddito.

Le motivazioni alla base delle vicissitudini della coltivazione canapiera italiana furono essenzialmente due strettamente collegate tra loro.

La più evidente e più lontana nel tempo, fu la **mancata industrializzazione** di una coltivazione molto tradizionale che, in un’epoca di profondi cambiamenti come fu il XIX secolo, continuò ad utilizzare le tecniche del passato; quelle tecniche tramandate senza mutamenti di generazione in generazione e contraddistinte dalla gran mole di lavoro intenso e faticoso che gravava sulle spalle dei contadini. I loro compiti non si esaurivano con le fasi semplicemente produttive, ovvero la preparazione del terreno, la semina ed il raccolto, ma riguardavano anche la filiera di lavorazioni volte ad estrarre la fibra dalla pianta; proprio a quelle onerose attività avrebbe dovuto rivolgersi l’interesse industriale, creando una vera e propria industria tessile e risolvendo quelle che assieme all’operazione della macerazione, erano le più grosse problematiche della coltivazione in questione.

La canapicoltura non riuscì a modernizzarsi soprattutto per la mancanza di capitali da investire, simbolo di una politica economica ben diversa da quella presente: dove, nello stesso periodo ma in altre nazioni come gli Stati Uniti e l'Inghilterra, già a partire dalla seconda metà del XVIII secolo, erano sorte le prime fabbriche ed il capitalismo industriale aveva trovato terreno più che fertile.

Proprio nei paesi anglosassoni nacque la grande industria tessile, la quale si occupò della fibra allora più coltivata: il cotone. Il processo produttivo del cotone andò man mano industrializzandosi, contrapponendosi alla produzione familiare ed artigianale, che contraddistingueva le vecchie colture come la canapa ed il lino. In breve tempo, il mercato internazionale fu inondato da manufatti in cotone e la canapicoltura ne subì fieri contraccolpi.

Oltre alla spietata competizione della nuova fibra, il consumo di canapa diminuì anche a causa della concorrenza di altre fibre extraeuropee, come la juta e l'abaca dei cavi metallici usati nell'industria cantieristica, e, più avanti nel tempo, con la comparsa delle fibre sintetiche. La canapa italiana era di altissima qualità, il che rendeva possibile una notevole esportazione del prodotto, fatto che riuscì a mantenere la nostra canapicoltura su dei livelli accettabili, sia per quanto riguarda la superficie coltivata, sia per la produzione complessiva.

Di fatto sin dal 1929, quando ormai si era manifestata al mondo nella sua totalità quella che fu definita "la grande crisi", vi furono gravi preoccupazioni in campo economico, ma, mentre le nazioni più attente adottarono tempestivamente misure protettive, in Italia solamente nel 1933 furono emanati i primi provvedimenti e costituiti i Consorzi provinciali obbligatori per la difesa della canapicoltura, che, dopo vicissitudini varie, si concentrarono, a partire dal 1953, nel Consorzio Nazionale Produttori Canapa. Fu instaurata una nuova politica economica, dalla quale la canapicoltura smise di essere un interesse privato per diventare quello di un'intera nazione; furono raggiunte le dimensioni del secolo precedente e sembrò che la coltivazione canapiera fosse rinata. Con la fine della Seconda Guerra Mondiale, ricominciò la tendenza negativa, che poi portò nel giro di un ventennio, alla totale sparizione della canapicoltura.

Infatti a nulla valsero imponenti manifestazioni di canapicoltori come quella del 12 Dicembre 1946 a Caserta e convegni di studi ad alto livello, né sortirono alcun effetto gli interventi dell'O.M.C.E., che, esortando a migliorare ed incentivare la produzione della

canapa e del lino, costituì una Confederazione Europea del Lino e dalla Canapa. Analogamente, a nulla servì l'accurato dibattito sulla crisi della canapicoltura tenutosi il 12 Agosto del 1951 a Frattamaggiore (NA), che vide la partecipazione di tutti i parlamentari della Provincia, né giovò alla causa il Convegno di Ferrara del 29–30 gennaio 1955. Mentre negli Stati Uniti ed in Inghilterra si prendevano provvedimenti protezionistici, che resero possibile un'ulteriore espansione della produzione cotoniera, i nostri governi adottarono in campo tessile una politica totalmente liberista. La canapicoltura, lasciata a se stessa, scomparve dal nostro territorio. Vi fu, senza dubbio, all'epoca una decisa volontà governativa di non intervenire, malgrado le numerose sollecitazioni pervenute da più forze politiche, e fu così che la coltivazione della canapa venne abbandonata in favore di fibre sintetiche, resistenti, poco costose e facili da ottenere, prevalentemente in campo nautico, ma soprattutto in favore del cotone che nello stesso periodo venne favorito da notevoli progressi nella meccanizzazione della raccolta e nelle successive fasi di filatura. La canapa, prodotto italiano, non poté contrapporsi al cotone, prodotto americano ed inglese, paesi più ricchi del nostro che, allora come oggi, ben detenevano le redini della politica e dell'economia mondiale.

Il secondo importante fattore che portò alla scomparsa della canapicoltura fu il **proibizionismo**.

La prima nazione a proibirla fu l'Egitto nel 1879, seguito, l'anno successivo, dalla Grecia. Con l'avvento del nuovo secolo, le politiche proibizioniste contro le droghe furono introdotte in altri stati e, in Italia, i primi decreti contro gli stupefacenti risalgono al 1923, durante il regime fascista che, se da un lato esaltava la canapa per gli usi industriali, dall'altro considerava la variante indica e l'hashish come un "*nemico della razza*". Questa propaganda contro una sostanza poco nota nel nostro paese, utilizzata sporadicamente solo da alcuni medici, è un buon esempio di come canapa indica e canapa sativa iniziarono ad essere considerate come piante differenti. Nel 1930 venne introdotta anche una normativa penale per l'abuso ed il traffico di questa sostanza, che sorvolava però sul consumo e sulla detenzione.

A causa della politica selvaggia di proibizionismo in America e alle pressioni nei confronti dell'ONU, nel 1961, attraverso il "Single Convention Drug Act", l'Organizzazione delle Nazioni Unite (ONU) dichiarò la marijuana uno stupefacente, cercando così di proibirne l'uso e la coltivazione in tutto il mondo, ed imponendone la debellazione nel giro di

trent'anni. I paesi occidentali, seguendo le normative dell'ONU, iniziarono a promulgare leggi ed apparati repressivi nei confronti della cannabis. Anche l'Italia, nel 1961, sottoscrisse una convenzione internazionale chiamata "Convenzione Unica delle Sostanze Stupefacenti", che si poneva l'obiettivo di far sparire dal mondo la suddetta pianta in circa 25 anni.

Il proibizionismo della marijuana non riuscì a raggiungere il proprio obiettivo, ovvero l'eliminazione dell'uso psicotropo della suddetta sostanza, ma contribuì, se non alla riduzione ed alla successiva scomparsa, sicuramente a complicare il suo ritorno sia in ambito industriale, sia in campo medico. Le politiche proibizioniste, che cercarono di distinguere la canapa sativa, utilizzata nell'industria tessile ed utile in molti altri usi, dalla canapa indica, la marijuana, portarono paradossalmente a risultati contrari a quelli sperati. Fumare marijuana divenne un fenomeno di massa, mentre le varie applicazioni industriali della canapa furono accantonate.

Inoltre, tra le cause concomitanti, che portarono alla crisi nel settore canapicolo, un posto rilevante lo ebbe sicuramente il sistema di lavorazione della canapa nell'azienda agraria, che richiedeva un impiego complessivo di circa 1.200 ore di manodopera per ettaro, fra i più alti di tutte le colture a pieno campo. Se da un lato questo garantiva occupazione a circa 30 mila operai, dall'altro offriva condizioni di lavoro particolarmente difficili, soprattutto nella fase della macerazione in acqua degli steli raccolti in fasci.

Con l'abbandono del lavoro agricolo e delle campagne, avvenuto in modo massiccio negli anni '60, sono venute a mancare le basi materiali ed umane perché la lavorazione potesse continuare, e a questo si è aggiunto l'arrivo di nuove fibre sintetiche che hanno largamente rimpiazzato la canapa nei filati tradizionali. Per questo motivo tra gli anni '50-'60 vennero indetti concorsi annuali per la progettazione di macchine, che permisero una maggiore automazione delle varie fasi di coltivazione e trasformazione della materia prima a fini tessili.

La macerostigliatura rappresenta l'ultimo tentativo, mai realizzato, di rilanciare la coltivazione della canapa nel comprensorio bolognese. Secondo questo innovativo processo di lavorazione, la laboriosa fase di macerazione non sarebbe più stata realizzata in azienda, ma in un impianto industriale. Il progetto prevedeva una stigliatura verde in azienda, cioè sugli steli ancora freschi ed una successiva macerazione industriale della fibra così ottenuta. Nonostante questo procedimento diminuisse l'impiego di manodopera a

livello aziendale e permettesse un maggior controllo del delicato processo di macerazione, i progetti che lo descrivevano non sono mai stati realizzati per il concomitante collasso del mercato della canapa.

Da allora in Italia la canapa è rimasta il ricordo di una cultura contadina sempre più lontana.

In conclusione, la canapa in Italia era riuscita a sopportare la prima grande ondata sul mercato del cotone con le prime influenze della meccanizzazione, ma con la definitiva imposizione del capitalismo e dell'industrializzazione, non riuscì ad adattarsi. Questo perché, come per tutti i settori di produzione, richiedeva investimenti di grandi capitali, con conseguenti rischi, e nessun imprenditore volle puntare su un prodotto definito da campagne pubblicitarie come la causa di tutti i mali, "la pianta con le radici nell'inferno" (propaganda proibizionista USA nel 1930) e, come descritto in precedenza, controllato da politiche incoerenti: così la canapa fu presto dimentica.

2.1.3 Il ritorno della Canapa

L'assenza di canapa dalle campagne del nostro Paese ebbe inizio a metà degli anni '70 e più precisamente nel 1978, quando furono abbandonati anche gli ultimi appezzamenti destinati alla canapicoltura.

Prima di continuare con gli sviluppi in Italia, bisogna prima mostrare gli sviluppi nel resto dell'Europa.

In sede comunitaria europea, il primo passo verso la reintroduzione di questa coltura risale al 1970 quando, con il regolamento numero 1308 del 29 Giugno 1970, furono stanziati aiuti economici forfetari per ogni ettaro coltivato a canapa, con l'obiettivo di regolare i mercati nel settore della suddetta pianta e del lino. Il regolamento C.E. 619/71 del 22 Marzo 1971 fissò le norme generali per la concessione dell'aiuto, che veniva accordato solo per la coltivazione di determinate varietà, tra cui la Carmagnola e la Fibranova (sementi italiane), che avessero un contenuto di THC inferiore alla soglia del 0,3%. All'alba degli anni '90, nuovi interessi e nuove opinioni riuscirono a riportare l'attenzione sulle vicende di questa coltura. Questo ritorno della canapicoltura è avvenuto su basi completamente diverse rispetto al passato, quando agli agricoltori veniva richiesto

l'impegno non solo per la coltivazione, ma anche per le successive fasi di macerazione e stigliatura.

Inoltre, l'unico prodotto vendibile era la fibra lunga per la creazione di tessuti e cordami, ottenuta attraverso procedimenti che richiedevano enormi impieghi di manodopera. La moderna canapicoltura si sta invece sviluppando sia affidando all'industria tutte le fasi produttive post-raccolta, che ampliando i suoi utilizzi. Attualmente si possono ricavare quattro prodotti semilavorati per la successiva commercializzazione, da cui possono derivare un gran numero di prodotti finali, di cui i più importanti sono:

- Fibra lunga (tessuti per abbigliamento, arredamento, corde, tappeti);
- Fibra corta (carta, feltri isolanti, geotessili, compositi);
- Canapulo (pannelli isolanti, materiale inerte per l'edilizia, lettiere);
- Semi (olio alimentare, cosmetica, vernici, resine).

Come si può notare, i settori dove si introduce la canapa sono quelli che pongono i maggiori problemi in termini di impoverimento delle risorse naturali non rinnovabili. Attualmente l'utilizzo più diffuso in Europa, insieme al campo tessile, è nel campo edile, e rappresenta un'alternativa alla produzione di materiali altamente tossici per l'uomo. La canapa quindi riuscì a trovare nuovi estimatori e sostenitori, soprattutto in seno al movimento ecologista. Le simpatie degli ecologisti derivavano anche dalle caratteristiche che la canapa ha nella sua coltivazione: coltura annuale, a basso impatto ambientale, non necessita di ulteriore irrigazione, non bisogna di additivi chimici, di diserbanti industriali, ed in grado di risanare il terreno, sia integrandolo, cioè dandogli la possibilità di "riprodursi" che ripulendolo dai metalli pesanti.

Canapa e canapicoltura vengono così ad identificarsi con il concetto di "sviluppo sostenibile", cioè un processo finalizzato al raggiungimento di obiettivi di miglioramento ambientale, economico, sociale ed istituzionale, sia a livello locale che globale.

Considerando la sostenibilità ruotare attorno a quattro componenti fondamentali:

- *Sostenibilità economica*: intesa come capacità di generare reddito e lavoro per il sostentamento della popolazione.
- *Sostenibilità sociale*: intesa come capacità di garantire condizioni di benessere umano (sicurezza, salute, istruzione) equamente distribuite per classi e genere.
- *Sostenibilità ambientale*: intesa come capacità di mantenere qualità e riproducibilità delle risorse naturali.

- *Sostenibilità istituzionale*: intesa come capacità di assicurare condizioni di stabilità, democrazia, partecipazione.

L'area risultante dall'intersezione delle quattro componenti coincide idealmente con lo sviluppo sostenibile.

Per raggiungere l'obiettivo riguardante la riprogettazione del prodotto e del suo ciclo vitale, la via da percorrere è l'utilizzo di materiali che rendano possibile e non problematico il loro riciclaggio e riutilizzo.

Grazie alla possibilità di utilizzare la canapa in vari settori industriali, combinando il profitto economico con la salvaguardia dell'ambiente, ed al rinnovato interesse per le proprietà terapeutiche del THC, sul finire degli anni '80 queste problematiche tornarono alla ribalta.

Negli Stati Uniti, il movimento pro-legalizzazione trovò nuove energie, e molti media si interessarono sempre di più all'argomento. Anche in Europa la situazione iniziò a rivitalizzarsi, soprattutto in Francia, dove il "Centro d'informazione e ricerca sulla cannabis" organizzò a Parigi, il 18 Giugno 1993, la "Prima Giornata Internazionale d'Informazione sulla Cannabis", ottenendo grande attenzione da parte dei media, dei politici e dell'opinione pubblica. In Francia, nel corso degli anni '80, la coltivazione della canapa era sopravvissuta grazie al continuo impegno della Federation Nazionale de Producteurs de Chanvre (FNPC), che sostenne la coltivazione di circa 10.000 ettari di varietà monoiche da loro selezionate. Un approfondimento sulla condizione attuale degli altri paesi, tra cui la Francia, verrà trattato più avanti.

Considerando i Paesi dell'Unione Europea, la superficie dedicata alla canapicoltura nel 1996 fu di 11.300 ettari, e l'anno successivo raggiunse i 22.000 ettari. Se nel 1989 erano solamente due i paesi comunitari che coltivavano canapa, ovvero la Francia e la Spagna, nel 1997 a questi si aggiunsero l'Austria, l'Inghilterra, la Germania, l'Olanda ed il Portogallo.

Anche nel nostro Paese si poté riscontrare una ripresa d'interesse. Dopo la promulgazione della legge 162/'90 Jervolino-Vassalli, DPR 309/'90, che reintroduceva il concetto di reato legato all'assunzione oltre che al commercio, ci fu un notevole ripresa del movimento anti-proibizionista. Questo era guidato dal CORA, il Coordinamento Radicale Antiproibizionista, che nel 1992 riuscì ad indire un *referendum* a favore della depenalizzazione dell'utilizzo personale della canapa. Si ottenne così un'importante

vittoria: con il 52% dei voti favorevoli furono abrogate le parti più repressive della legge 162, cosicché l'uso ed il possesso personale non furono più soggetti a sanzioni penali. Inoltre, in Spagna, Inghilterra, Germania e Francia vennero intraprese diverse sperimentazioni industriali, ed in Svizzera la canapa fu commercializzata per scopi curativi, industriali e ornamentali.

Nel nostro Paese, comunque, questo movimento restò in sordina. Nel 1994 e nel 1995, la sola canapa coltivata ufficialmente in Italia, tenuta chiaramente sotto lo stretto controllo delle forze dell'ordine, era quella dell'Istituto sperimentale per le colture industriali, ed anche i vari tentativi di coltivarla a scopo didattico (in Emilia e Val d'Aosta) furono duramente repressi.

Due anni più tardi però, nel 1997, grazie alla circolare ministeriale MIPA, la canapa e la canapicoltura poterono ritornare ad essere una realtà anche nel nostro Paese. A seguito del già citato disegno di legge presentato in Senato il 20 Febbraio 1997, tenendo in considerazione la crescente richiesta di fibre vegetali e riscontrando una ripresa della coltura negli altri paesi europei, nel 1998 si è ripreso a coltivare la canapa da fibra grazie al contributo CEE (circa 1.300.000 lire per ogni ettaro coltivato) e ne sono stati seminati 255 ha; nel 1999 appena 180 ha; mentre nel 2000 poco più di 150 ha. Gli incentivi comunitari del '98 non sono però bastati per rilanciare la canapa in Italia, in quanto l'applicazione delle leggi, che disciplinano gli stupefacenti, tra cui il D.P.R. n°309 del 9/10/1990, ha fatto temere a molti agricoltori, anche se in regola con le disposizioni vigenti, di incorrere comunque in provvedimenti penali. Le regioni più attive sono state in ordine: l'Emilia-Romagna, il Piemonte, la Toscana, le Marche e la Campania. Sull'onda dell'entusiasmo per la nuova situazione creatasi, nacquero in breve tempo molte associazioni interessate alla canapa ed ai suoi utilizzi industriali.

Tra queste spicca, agli inizi del 1998, il Coordinamento Nazionale per la Canapicoltura (ASSOCANAPA) per iniziativa di un ristretto gruppo di agricoltori ed appassionati tra cui Cesare Tofani, attuale presidente di Gruppo Fibranova. Questa è un'associazione che riunisce tutti gli operatori che, a vario titolo, intendono impegnarsi per lo sviluppo della canapicoltura in Italia. Dopo un'intensa attività di promozione, realizzata con numerosi convegni, seminari e la partecipazione ad eventi fieristici, l'associazione ha operato direttamente per l'assistenza alle aziende che hanno coltivato la canapa.

Ha consentito l'approvvigionamento del seme agli agricoltori che nel frattempo ne avevano fatto richiesta e fornito assistenza per i problemi tecnici e legali. Tutto questo grazie soprattutto all'intensa collaborazione con diversi Enti di Ricerca nazionali ed europei. Nel frattempo ASSOCANAPA ha cercato di stimolare l'interesse di quelle industrie che possono introdurre nel breve periodo i materiali di canapa nei loro cicli produttivi. In breve tempo è stata già riscontrata un'incoraggiante richiesta di tutti i prodotti semilavorati, da gran parte delle aziende tessili, che in Italia sono numerose, e dalle aziende inserite in settori ove si sta sviluppando il mercato dei prodotti naturali ed ecocompatibili (edilizia, arredamento, cosmetica).

Un'altra associazione di spicco è il Consorzio Canapaitalia, fondato nel Luglio del 1999 in Emilia-Romagna e con precisione a Ferrara, storica sede della canapicoltura nostrana. Dopo che, nel 1998, fu avviata una sperimentazione agraria per la reintroduzione della coltivazione della canapa, nei comuni di Comacchio e Portomaggiore (in tutto 21 ettari, coltivati in modo continuo ed in maniera tale che la polizia potesse controllare senza problemi), l'anno successivo fu decisa la costituzione del Consorzio.

Ad esso aderiscono tutte le aziende che rappresentano il ciclo completo della filiera, l'Assessorato all'agricoltura, un gruppo di aziende locali, la Regione Emilia-Romagna, ed addirittura la linea Armani Jeans (AJ). Lo stesso Armani ha così dichiarato in un'intervista: *“All'inizio ero un po' tiepido sul progetto, un po' titubante anche per via di questa foglia emblematica di certe cose. Poi ho preso coscienza che ciò che è naturale è vicino all'essere umano e che questa fibra andava recuperata per essere riportata ai valori che ha: una fibra eccezionale, con una consistenza morbida, più arrendevole del cotone, di gran durata e adattabilità con un risultato di grande scioltezza e quindi molto gradito sul mercato”*. L'interesse va dalla produzione alla commercializzazione, con particolare attenzione per l'utilizzo tessile, della carta, delle sementi e dei semilavorati in canapa. Anche in questo caso, l'obiettivo è dare avvio e sviluppo alla filiera della canapa, dalla coltivazione alla lavorazione, coinvolgendo i diversi settori merceologici nei quali la pianta può essere utilizzata.

Il triennio 1998-2000 fu principalmente un periodo di sperimentazione. La superficie dedita alla coltivazione della canapa passò dai 255 ettari del 1998 ai 180 ettari dell'anno successivo, e nel 2000 si attestò sui 150 ettari. Gli incentivi comunitari non furono

sufficienti per un rilancio della canapicoltura e, nel periodo considerato, molte furono le problematiche che vennero a galla.

L'aspetto più discusso era quello economico, legato alla ricostruzione dell'intera filiera: nel nostro paese non esisteva più nessuna struttura di prima lavorazione del prodotto capace di fornire alle altre imprese i semilavorati. Bisognò così cercare nuovi utilizzatori intermedi e finali, capaci ed interessati ad acquistare ed impegnare la materia prima agricola, rendendo chiari i risultati economici garantiti agli agricoltori vogliosi di investire nella vecchia–nuova coltivazione. Dobbiamo anche tener presente che la canapa non veniva più coltivata nel nostro paese da parecchi anni e che, quindi, bisognava sviluppare le macchine più adeguate per la semina e per il raccolto, le tecniche per lo stoccaggio del prodotto, ed individuare quale attrezzo utilizzare per la stigliatura.

Per quanto riguarda le fibre tessili, ad oggi ci sono ancora grandi difficoltà: per stigliare, pettinare e filare la fibra di canapa vengono ancora utilizzati i macchinari costruiti per il lino, opportunamente adattati, che trattano steli e fibra della lunghezza di circa 1 m. Questo metodo è stato sperimentato negli anni passati nella zona di Comacchio, ma non ha dato i risultati sperati.

2.2 Situazioni attuali

2.2.1 Francia

Più recentemente, l'uso del biocomposito di canapa e calce si è diffuso in Francia, più specificatamente nella regione di Troyes, per la conservazione di edifici medioevali con struttura in legno, andando a sostituire gli antichi materiali di riempimento che prevedevano il tradizionale metodo '*a cannicciata di fango*' (Wolley, 2006).

Originariamente il riempimento veniva coperto con intonaco a base di calce ma, durante la seconda metà del XX secolo, la maggior parte delle riparazioni è stata realizzata utilizzando intonaci a base di cemento. I muri venivano così resi impermeabili e, non potendo più respirare, l'umidità intrappolata all'interno ha causato il rigonfiamento del riempimento e lo staccamento dell'intonaco.

Il cemento di canapa e calce è stato quindi riconosciuto come la soluzione per i danni causati dall'utilizzo improprio del cemento. Non esiste traccia delle persone che hanno per prime utilizzato la canapa come ingrediente nel mix, e nemmeno dell'esatto periodo in cui si è iniziato ad utilizzarlo ma, essendo Troyes la regione con la maggiore produzione di canapa in Francia, il nesso diventa praticamente ovvio (Allin, 2005).

La tecnica andò immediatamente incontro ad un risveglio di interesse nel paese e, grazie a tre persone in particolare, il suo potenziale venne ulteriormente sviluppato e testato in diverse applicazioni (Allin, 2005). France Périer con la sua azienda “IsochanvrÈ” iniziò a produrre e distribuire il cemento di canapa e calce come alternativa al cemento tradizionale, mentre Bernard Boyeux con l’associazione “Construire en Chanvre” ed Yves Khun con la “Association d’Adam” aiutarono a mettere in relazione i diversi portatori di interesse della neonata industria.

Oggi in Francia esistono diverse centinaia di case costruite con il biocomposito di canapa e calce e circa 4.000 tonnellate di canapulo vengono utilizzate dall’industria edile, per un fatturato totale di 35 milioni di euro (Wolley, 2006). Ricerca scientifica e test vengono costantemente condotti dal “Centre Scientifique et Technique du Batiment” (Centro di Scienza e Tecnica per la costruzione) e la “Ecole Nationale des Travaux Public de l’Etat” (Scuola Nazionale dei Lavori Pubblici di Stato), così come dal gruppo multinazionale Lhoist, il più grosso produttore di calce al mondo (Allin, 2005).

2.2.2 Regno Unito

Nel Regno Unito il cemento di canapa e calce è un concetto piuttosto recente.

Ufficialmente è stato Ralph Carpenter di “Modece Architects” il primo ad utilizzarlo in via sperimentale all’interno di un progetto di edilizia popolare nel sud dell’Inghilterra per conto della società Suffolk Housing. L’intero processo è stato monitorato e misurato dal “Building Research Establishment”, una società di ricerca e consulenza specializzata in edilizia sostenibile, con il fine di investigare le proprietà strutturali, termiche, acustiche, di permeabilità e durevolezza, così come la riduzione dei rifiuti generata sul posto durante i lavori, l’impatto ambientale, ed i costi di costruzione (BRE, 2002).

La “Lime Technology”, un’azienda operante nello sviluppo di prodotti a base di calce, in collaborazione con Lhoist UK ed Hemcore, il maggiore trasformatore di canapa industriale nel Regno Unito, al momento producono e distribuiscono canapulo e calce legante con il marchio registrato Tradical® Hemcrete® (Lime Technology, 2006).

Ulteriori progetti sono stati realizzati negli ultimi anni. A Settembre 2006 un enorme magazzino e centro di distribuzione è stato completato a Southwold, nel Suffolk, utilizzando 100.000 mattoni di canapa e calce e 1.000 mc di cemento di canapa e calce attorno ad una struttura portante di acciaio (Campbell, 2006). Nel Febbraio del 2007, la sede della “Lime Technology” a Didicot, Oxfordshire, è stata completamente rinnovata

utilizzando 110 mc di cemento di canapa e calce (Lime Technology, 2006). A fine dell'anno 2007 era in fase di completamento un edificio di tre piani che ospiterà un centro di educazione ambientale a Machynlleth nel Galles, dove il cemento di canapa e calce è stato impiegato per realizzare il sistema murario (WISE, 2007). Altri edifici privati sono stati sicuramente costruiti nel paese, ma è un dato difficile da conoscere con certezza. La ricerca sul cemento di canapa e calce viene attualmente condotta in diverse università nel Regno Unito. I maggiori centri sono la University of Bath; la University of Wales a Bangor; la University of London con il suo "Centre of Alternative Technologies" (Centro per le Tecnologie Alternative); la Plymouth University; e la Queen University of Belfast. Essendo il cemento di canapa una innovazione nel settore edile, non è ancora coperto nel Regno Unito da standard o linee guida ufficiali (Woolley, 2006). Per questo motivo, nel 2006, diverse aziende e professionisti si sono uniti per formare la "Hemp Lime Construction Products Association" (Associazione dei Prodotti di Canapa e Calce). Tra le sue finalità vi è quella di promuovere l'uso del biocomposito di canapa e calce all'interno dell'industria edile britannica e quello di promuovere i suoi benefici rispetto ai metodi costruttivi più ricorrenti.

2.2.3 Italia

Le condizioni attuali per la canapicoltura in Italia sono:

- La coltivazione deve essere inserita nella denuncia PAC.
- Nel 2001 è entrata in vigore la norma comunitaria (regolamento C.E. n°2860/2000), che stabilisce il nuovo limite massimo ammesso di THC (tetraidrocannabinolo), che passa dal precedente 0,3% allo 0,2%. Deve essere seminata canapa di una cultura compresa nell'elenco europeo delle varietà con tenore di THC inferiore allo 0,2%. Questo provvedimento, che appare riduttivo ai fini di un presunto controllo della produzione di sostanze stupefacenti essendo le varietà da droga dotate di un contenuto in THC spesso superiore al 10%, sembra aver avuto come unico effetto quello di escludere dal mercato le varietà da fibra ungheresi, che superavano di poco il nuovo limite.
- Il nuovo regolamento CE, allegato XIII articolo 7 ter, stabilisce che per ottenere il contributo è necessario verificare non prima del ventesimo giorno dall'inizio della fioritura ed entro il decimo giorno successivo alla fine, il contenuto di THC.

- È assolutamente necessario utilizzare seme che sia stato certificato da Ente autorizzato perché, se tale limite è superato, si incorre in sanzioni penali stabilite dalla legislazione sulle sostanze stupefacenti.
- Le varietà di cannabis sativa ammesse alla coltivazione, nell'ambito dell'Unione Europea, sono elencate nell'allegato XII del Reg. CE 1251/1999 e successive modifiche. L'elenco delle varietà ammesse viene costantemente aggiornato.
- All'emergenza delle piante deve avvenire la comunicazione della coltivazione alla più vicina stazione delle Forze dell'Ordine (Carabinieri, Polizia, Finanza, Forestale).
- Il quantitativo di seme impiegato non deve essere inferiore ai 35 kg per ettaro.
- L'agricoltore deve avere stipulato un contratto di coltivazione con un primo trasformatore autorizzato (Assocanapa srl è autorizzata alla prima trasformazione).
- La resa in bacchetta secca ottenuta non deve essere inferiore ai 15 q.li per ettaro.

Tra i problemi si riscontra la disponibilità di seme che è condizionata da esigenze di programmazione delle attività di moltiplicazione, dalla scarsa terminabilità delle sementi stoccate per più di 6 mesi ed anche dalle continue variazioni delle norme comunitarie. Tutto questo rende molto arduo poter programmare per più anni le superfici da destinare alla coltura della canapa.

Per agevolare i controlli, Assocanapa si è inoltre impegnata per i suoi associati a non coltivare appezzamenti di superficie inferiore ad 1 ha e a comunicare annualmente all'AGEA e alle Regioni l'elenco delle coltivazioni dei suoi associati.

La Canapa è pianta allogama, con fortissima variabilità genetica che determina, tra le altre cose, una forte variabilità nel contenuto di THC, con oscillazioni intorno alla media del 150%. Tale variabilità, molto più accentuata nelle piante femminili, è funzione dell'ambiente, della varietà e del livello di maturazione della pianta. In sede di Commissione, tutti i paesi membri, tranne l'Italia, hanno accettato, senza particolari obiezioni, questa condizione di verifica. Per l'Italia, il rispetto di una simile condizione è estremamente penalizzante per la produzione della fibra di Canapa di elevata qualità da varietà dioiche (Grassi, 2001). In queste ultime, infatti, il 50% delle piante (quelle

maschili), nel momento di piena e fine fioritura delle piante femminili, presentano la fibra già eccessivamente lignificata e perciò di qualità scadente. Potendo invece raccogliere prima di quest'epoca, tutte le piante avrebbero una buona e uniforme qualità della fibra e inoltre un contenuto di THC più basso rispetto ai momenti successivi. Nel nostro caso, quindi, se si utilizzassero unicamente varietà dioiche italiane, per rispettare le regole, si produrrebbe Canapa con una fibra di bassa qualità, rischiando, comunque, di oltrepassare i limiti di THC.

In alcune regioni italiane, quali l'Emilia Romagna e la Toscana ad esempio, sono stati predisposti dei piani regionali che promuovono la nascita di filiere agro-industriali della canapa. Alcuni impianti di prima trasformazione si trovano ad Alife (Caserta), a Carmagnola (Torino), a Comacchio (Ferrara) e a Guastalla (Reggio Emilia). Nel 2003, grazie ai contratti di ritiro stipulati con gli agricoltori, sono stati messi a coltura circa 1000 ha di canapa, prevalentemente in Emilia Romagna. Il progetto pilota Toscanapa mette in grado aziende e ricercatori di costruire impianti innovativi e di trasferire le conoscenze acquisite su scala produttiva industriale. Tuttavia, la mancanza di ulteriori impianti di prima trasformazione in prossimità delle aree di coltivazione provoca un aumento dei costi di produzione della canapa, dovuti al trasporto del raccolto. Il rilancio della produzione di canapa in Italia richiede, quindi, che l'agricoltura e l'industria, con l'indirizzo ed il sostegno delle amministrazioni e di un quadro legislativo adeguato collaborino per la realizzazione di un sistema di filiera che, in alcune aree rurali, potrebbe creare importanti opportunità di reddito.

2.2.3.1 Controlli amministrativi

Ogni anno su un campione di colture di canapa viene eseguito dal CRA CIN di Bologna un controllo per verificare il tenore di THC contenuto. L'eventuale sfioramento del limite dello 0,2% non comporta provvedimenti a carico dell'agricoltore ma la segnalazione dello sfioramento al Ministero e all'UE per il monitoraggio della varietà.

2.2.3.2 Controlli delle Forze dell'Ordine

Nel contesto delle azioni antidroga sono sempre possibili controlli delle coltivazioni da parte delle Forze dell'Ordine, ma non sono da temere da parte degli agricoltori se le

procedure prescritte sono state rispettate e se la documentazione (cartellino ENSE, fattura di acquisto del seme, contratto di prima trasformazione) è stata conservata regolarmente.

2.2.3.3 Aspetti procedurali di coltivazione

Un agricoltore che intenda coltivare canapa da fibra deve sottostare ad una rigida procedura. Innanzitutto deve approvvigionarsi di seme certificato, conservare in azienda la fotocopia del cartellino di certificazione fornito dalla ditta sementiera e la fattura relativa all'acquisto della semente. Ogni coltivatore dovrà poi essere a conoscenza della concentrazione di tetraidrocannabinolo (THC) della propria coltivazione ed essere in grado di fornirne le prove. Una volta effettuata la semina ed appena avvenuta l'emergenza delle piantine, l'agricoltore deve compilare un'apposita "dichiarazione di coltivazione" della canapa; questa si effettua alla più vicina stazione di Polizia (Polizia di Stato, Carabinieri, Guardia di Finanza) utilizzando un fac-simile appositamente predisposto (Circolare del Ministero delle Politiche Agricole e Forestali dell'8 Maggio 2002 n°1 prot. 200-Regime di sostegno a favore dei coltivatori di canapa destinata alla produzione di fibre C. sativa NC 53 02.10.00). È importante precisare esattamente la dislocazione dei campi seminati, allegando alla comunicazione una planimetria con l'ubicazione dei terreni seminati (foglio e mappali). È necessario anche stipulare un contratto di conferimento del materiale prodotto con un primo trasformatore autorizzato. Al momento della raccolta, l'agricoltore deve contattare i medesimi uffici per informare dell'avvenuta raccolta; questi poi procederanno ai vari controlli. Durante il periodo di coltivazione, le forze dell'ordine possono venire a controllare la coltivazione e prelevare campioni di piantine per le analisi secondo il metodo indicato nel regolamento U.E. 1164/89.

Con la Circolare del 2 Maggio 2009, il Ministero della Salute consente la produzione e la commercializzazione di prodotti alimentari a base di semi di canapa.

Inoltre, l'associazione Assocanapa fornirà, se necessario, ai suoi associati assistenza in caso di controlli da parte delle Forze dell'Ordine. Assocanapa è inoltre disponibile all'acquisto della fibra dai gruppi che realizzano gli impianti.

2.2.3.4 Finanziamenti e contributi

- La canapa è soggetta al contributo europeo PAC (Politica Agricola Comune) come tutti i seminativi. Tutti i coltivatori che beneficiano di queste quote di contributo a loro assegnate possono tranquillamente coltivare anche la canapa.
- Cofinanziamenti delle Regioni di appartenenza per gli impianti di trasformazione ad uso risparmio energetico.
- Cofinanziamenti Infrastrutturali Europei previsti per il periodo 2014–2020 per impianti, riutilizzo di aree marginali, recupero di aree industriali ed edifici.
- Per le Regioni più avanzate tecnologicamente: il Cofinanziamento complessivo Fondi Infrastrutturali Europei (pari da solo a 13,5 miliardi di euro), più i Fondi FESR e FER di 20,5 miliardi di euro.
- Per le altre Regioni complessivamente il cofinanziamento previsto è di 40 miliardi di euro.
- Per l'utilizzo del Pellet e del Cippato sono operativi i Certificati Bianchi e il V Conto Energia.

3. Il biocomposito calce–canapa

Il continuo incremento nella richiesta di risorse ed il contemporaneo esaurirsi di quelle fino ad ora sfruttate ha condotto alla necessaria ricerca di soluzioni sostenibili nel presente e soprattutto nel futuro. Il mercato è appunto alla ricerca di soluzioni innovative, in grado di risolvere problemi già noti negli edifici attuali, come ad esempio la bassa efficienza energetica, la non traspirabilità e la cattiva gestione dell'umidità.

Da diversi anni il settore edile sta attraversando una crisi sempre più profonda, dovuta alla mancanza di equilibrio tra i tre pilastri dello sviluppo sostenibile: gli aspetti sociali, ambientali ed economici del costruire. Tutto questo con conseguenze evidenti, come la speculazione edilizia, la sindrome da edificio malato e la cattiva qualità dei materiali utilizzati.

Il composto calce–canapa (*Hemp–Lime*) è un materiale da costruzione spesso definito in inglese come *Hemcrete* o anche come *Lime–Hemp* (calce–canapa). Esso è stato originariamente concepito come sostitutivo al riempimento di paglia e fango degli edifici a struttura di legno in Francia, dove veniva chiamato *Chaux–Chanvre*. Questo composto si ricava mescolando piccoli pezzetti del nucleo legnoso degli steli di canapa, detto anche canapulo, con un legante a base di calce aerea con pozzolanica, di calce idraulica o cementizia e in alcuni casi anche di una piccola quantità di altri additivi (per esempio i tensioattivi).

Le persone che vivono in case costruite in canapa–calce riportano alti livelli di comfort (ad esempio, temperature uniformi nelle varie stanze e livelli di umidità gradevoli).

Il composto calce–canapa rientra tra le diverse tecniche ecocompatibili più importanti e promettenti, ed è decisamente il linea con i tre pilastri dello sviluppo sostenibile:

- **Ambientale:** la miscela di calce e canapa è in grado di ridurre le emissioni di diossido di carbonio grazie alle sue proprietà di isolamento termico e di sequestro di CO₂ nella struttura degli edifici. Rende inoltre superfluo l'utilizzo di diversi materiali sintetici, aiutando così a ridurre la dipendenza dai combustibili fossili e, data la riciclabilità della calce e la biodegradabilità della canapa, risulta essere un materiale che non crea problemi di smaltimento: il biocomposito è riciclabile in quanto, se sgretolato e re-impastato in betoniera con nuova calce ed acqua, può essere utilizzato per murature, sottofondi, e vespai; ed è biodegradabile in quanto composto da legno e calcare.
- **Economico:** il biocomposito è sostenibile perché è un materiale prodotto a livello locale; è inoltre è in grado di collegare direttamente industria e agricoltura. Riduce la dipendenza da materiali di costruzione sintetici, e la crescita dell'occupazione rappresenta una diretta conseguenza del suo utilizzo.
- **Sociale:** il biocomposito ha notevoli risvolti benefici. Poiché il settore agricolo è in declino nella maggior parte dei paesi sviluppati, la canapa diventerebbe per gli agricoltori una coltura e una fonte di guadagno. Inoltre l'ambiente salubre all'interno degli edifici di canapa è un ulteriore beneficio per la comunità.

3.1 Elementi di composizione

3.1.1 Canapulo

Il canapulo, detto anche “legno di canapa”, è il residuo legnoso ottenuto dalla lavorazione dello stelo della canapa per la separazione della fibra, utilizzata per la produzione di tessuti, corde e materiali per l'edilizia

Separato dalla fibra tramite stigliatura, il canapulo, viene tritato, sminuzzato in piccole parti e successivamente depolverizzato, per poi essere commercializzato in granulometrie comprese tra i 5 ed i 30 mm in lunghezza e tra i 2 ed i 5 mm in larghezza.

La distribuzione avviene in sacchi di materiale sfuso come nel caso di “Equilibrium” in Italia, che distribuisce il canapulo in sacchi da 150 o 200 lt oppure in Big Bag da 1.200 o 2.500 lt.

Alternativamente il materiale viene venduto in balle compresse come nel caso di “Chanvribat” in Francia, che le distribuisce in confezioni da 20 kg.

A seconda dell'utilizzo viene impiegato un canapulo:

- **Fine** con lunghezza inferiore a 10 mm;

- **Medio** con lunghezza tra i 10 e i 20 mm;
- **Grosso** con lunghezza tra i 20 e i 30 mm.

I canapuli sono anche molto porosi (con una percentuale del 60%), caratteristica alla base delle prestazioni termiche ed acustiche delle miscele in calce–canapa.

Nei microscopici alveoli di cui è composto il tessuto del canapulo si susseguono continui processi di micro–condensazione ed evaporazione, che gli conferiscono un potere di assorbimento dei liquidi circa dodici volte superiore alla paglia, tre volte superiore al truciolo di legno, e pari a cinque volte il suo peso.

È questo processo a fornire alle miscele di calce–canapa il loro particolare comportamento igrometrico.

La grande quantità di silice presente nel truciolato vegetale, inoltre, ha reso ottimale il suo impiego come inerte nelle miscele a base di calce idrata, in sostituzione di ghiaia, pietrisco e sabbia. Miscelato con quest’ultima, infatti, il canapulo reagisce mineralizzandosi, passando dallo stato vegetale a quello minerale, con tutte le caratteristiche di quest’ultimo: resistenza al fuoco, inappetibilità agli insetti od ai roditori, e resistenza alla formazione di muffe e batteri.

3.1.2 La Calce

Il legante a base di calce serve per legare e tenere insieme i pezzi di canapulo. Un’altra funzione è quella di cristallizzare il canapulo indurendolo e solidificandolo. In questo modo il canapulo è protetto da ogni azione di marcescenza, oltre a diventare ignifugo una volta miscelato con calce e acqua.

In commercio esistono differenti leganti, tra questi solo alcuni sono idonei per la produzione della miscela di canapa. Gli ingredienti principali sono:

- Calce idraulica;
- Calce idrata;
- Pozzolonica e altre sabbie vulcaniche;
- Gesso e mattoni tritati.

Ogni ingrediente ha una propria funzione, e le loro proporzioni variano a seconda dell’uso. È fondamentale che tutti i componenti siano naturali e che l’applicazione usi dei leganti approvati, forniti con i rilevanti dati tecnici.

3.1.2.1 Vantaggi e svantaggi della Calce in relazione a Cemento

La calce presenta molti problemi ambientali ad essa connessi:

- Si estrae su larga scala;
- Ha un'energia moderatamente alta incorporata (800kg/t);
- Si tratta di una risorsa limitata;
- La diminuzione delle cave ed il conseguente obbligo a doverla trasportare a partire da distanze maggiori e tramite l'utilizzo di mezzi pesanti (i carichi pesanti causano più emissioni di CO₂ ed inquinamento) (WWF, 1994);
- La fornace per la produzione della calce utilizza combustibili fossili;
- Per le sue operazioni minerarie ed il contributo al riscaldamento globale per le emissioni di CO₂, la calce è stata associata alla diminuzione delle biodiversità.

Nonostante questo, sono molti i vantaggi nell'utilizzare la calce:

- È “traspirante” (elevata porosità ed elevata permeabilità al vapore acqueo): pareti traspiranti con controllo dell'umidità interna, riducendo la formazione di condensa ed impedendo la formazione di muffe. Questo migliora la qualità dell'aria interna e la salute degli occupanti di un edificio;
- Bassa conducibilità termica (circa 1 W/(mK)) e un calore specifico abbastanza alto, contribuiscono al comfort termico dell'ambiente interno;
- La calce è un materiale duraturo (vedi, ad esempio, il Pantheon a Roma);
- La calce è facilmente riciclabile (viene, ad esempio, ri-bruciata per formare calce idrata o utilizzata come aggregato) o è naturalmente assorbita dal terreno senza causarne la tossicità dello stesso. Quindi non richiede discariche;
- Auto-risanamento: nelle strutture in calce possono apparire piccole crepe. L'acqua penetra nelle fessure e scioglie la calce libera, che viene portata in superficie dove avviene la carbonatazione, guarendo la spaccatura automaticamente;
- Protezione: agisce come una buona superficie esterna “sacrificale”, proteggendo gli elementi strutturali essenziali dalle intemperie, dal fuoco e dai parassiti;
- Le malte di calce proteggono i blocchi in pietra e mattoni, consentendo loro di essere facilmente riciclati alla fine del ciclo di vita dell'edificio, riducendo il consumo di materiale nel tempo e la necessità di considerevoli restauri di edifici;

- Le miscele a base di calce hanno una buona lavorabilità e sono adatti per l'intonacatura;
- La calce è alcalina, caratteristica che previene la formazione di muffe e rende i composti a base calce disprezzata dai piccoli animali.

La calce è abbastanza difficile da usare rispetto al cemento, e richiede anche un lavoro più intenso e attento. Richiede anche più lavoratori per più giorni, poiché deve essere mantenuta umida e restare protetta dalle intemperie per almeno una settimana dall'applicazione. Ci vuole tempo affinché i composti siano completamente stabili (parliamo di diversi mesi) e possono essere danneggiati dal gelo prima di allora. Che significa, quindi, che la costruzione è dipendente dal clima e che i lavori esterni non sono raccomandabili nei mesi invernali. Tutte queste considerazioni hanno reso la calce impopolare nell'edilizia moderna.

Questi problemi possono essere contrastati, oltre che con i vantaggi elencati precedentemente, anche cercando di rendere le fasi di estrazione e di lavorazione locali, ed inoltre impiegando dei forni che usano biomassa come combustibile. Questo ridurrebbe ulteriormente le emissioni di biossido di carbonio, l'inquinamento, ed i rifiuti. Le emissioni di CO₂ per tonnellata possono essere ridotti da 880 kg a 330 kg. Le emissioni di CO₂, tuttavia, verranno analizzate più approfonditamente nel paragrafo successivo.

Nel complesso sembra ragionevole sostenere la calce come materiale di costruzione per tutti i benefici sopra delineati .

3.1.2.2 Produzione di CO₂

I consumi energetici per la produzione della calce rappresentano fino al 50% dei costi totali di produzione, e l'80% delle emissioni di CO₂ è legata ai processi produttivi. Il processo di produzione della calce consiste nella cottura del carbonato di calcio in modo tale da liberare anidride carbonica e ottenere l'ossido derivato. L'energia termica richiesta per la trasformazione chimica del calcare genera un'emissione di CO₂ per combustione. Di conseguenza, la produzione di CO₂ nel processo di produzione della calce avviene:

- Attraverso la trasformazione chimica del calcare in calce, emissione per processo;

- Attraverso la combustione di metano o di altri tipi di combustibili nei forni da calce, emissione per combustione.

Confrontando le emissioni di CO₂ derivanti dal processo di produzione della calce e quelle del cemento:

Materiali	Kg di CO ₂ /t di legante				
	Emissioni durante la cottura	Emissione da decarbonatazione	Totale emissione durante la produzione	CO ₂ riassorbita	Percentuale riassorbita
CL 90	308	564	872	535	61%
NHL 2	300	528	828	445	54%
NHL 3,5	256	350	606	270	44%
NHL 5	275	360	635	220	34%
Cemento	403	416	819	/	/

Dalla tabella si evince che il paragone è a favore della calce, sia per la CO₂ totale emessa in produzione, sia per la capacità della calce di sottrarre anidride carbonica all'atmosfera dopo la messa in opera.

Altro punto a favore della calce è la sua capacità di riassorbire il 50–60% della CO₂ emessa durante la produzione (le calci idrauliche invece, possono riassorbire un massimo di 55% della CO₂ emessa), a condizione che essa sia completamente carbonata. Il processo della carbonatazione può richiedere anni per completarsi interamente.

3.1.3 L'acqua

L'acqua assicura la reazione chimica tra il legante e la canapa, oltre a rendere la miscela fluida e facilmente lavorabile; esattamente l'opposto della maggior parte dei materiali isolanti. La fluidità della miscela consente al materiale di adattarsi alla superficie alla quale viene applicata, di entrare in ogni angolo ed interstizio, di essere livellato e compattato, in modo da assicurare una perfetta barriera all'aria una volta asciugato e indurito.

3.2 La miscela

La possibilità che la miscela possa essere formata ed usata in diversi modi (per esempio, la quantità di legante e spessore) fa sì che il prodotto possa soddisfare diverse esigenze. La miscela di canapa con un basso contenuto di legante ha una migliore capacità di isolamento termico, ma una volta indurita deve essere sostenuta (tetti ed interstizi dei muri). Con l'aggiunta di una maggiore quantità di legante, la miscela diventa più densa e autoportante, e può essere usata per formare una muratura di tamponamento o un isolamento di pavimenti.

La canapa fa da materiale riempitivo leggero, detto anche aggregato, mentre la calce da legante e conservante. Il canapulo è solitamente un sottoprodotto della lavorazione della fibra di canapa ed essendo naturalmente ricco di silice, aiuta l'indurimento della calce (ottimale, quindi, il suo impiego come inerte nelle miscele a base di calce idraulica). Una volta indurito, il biocomposito si trasforma in un materiale rigido e leggero con ottime caratteristiche di isolamento e durezza (HLCPA, 2006). Il mix si consolida in poche ore, mentre con il passare del tempo e per via del processo di pietrificazione, acquisisce una consistenza simile alla pietra (Michka, 1994).

Contribuiscono a ridurre i consumi energetici degli edifici (fino al 40% nella ristrutturazione e fino all'80% nella nuova costruzione) ed a migliorare il comfort abitativo degli occupanti.

«Un suo utilizzo permette di risparmiare il 90% di acqua rispetto a quella necessaria nel caso del cemento e poco meno di un terzo di energia – ha informato Erich Trevisiol, docente di Progettazione sostenibile all'Università Iuav di Venezia – In più usare la canapa vuol dire poterla coltivare e produrre davanti al cantiere, in modo da poter avere la materia prima davvero a chilometro zero».

Considerato che il settore delle costruzioni tradizionale incide per il 40% sui consumi di energia, per il 30% sull'uso di risorse naturali e sulla produzione di rifiuti, per il 20% sul consumo d'acqua ed è causa del 40% delle emissioni di anidride carbonica, non si può più non derogare all'utilizzo di nuove tecniche sicuramente più sostenibili.

Tra l'altro è venuta ora a cadere la motivazione usata come pretesto per non intraprendere questa strada innovativa, cioè quella dell'aumento dei costi di costruzione, tanto diminuiti fino ad essere oggi comparabili con quelli dell'edilizia tradizionale.

«Dieci anni fa era attorno al 15%. Oggi il differenziale è pari a zero», conferma Trevisiol.

3.3 Miscelazione

I macchinari utilizzati per le tecniche costruttive in calce–canapa dipendono dal tipo di applicazione e dall'elemento costruttivo da realizzare. La prima distinzione è tra l'applicazione manuale e a macchina.

Nel primo caso, il macchinario necessario ha unicamente la funzione di miscelazione dell'impasto, e a seconda del tipo di miscela vi sono diversi tipi di miscelatori:

- Miscelatore ad asse planetario;
- Miscelatore a vite senza fine;
- Betoniera.

Nel secondo caso, il metodo consolidato di applicazione della calce–canapa a macchina è quello a spruzzo. In questo caso non è necessario un miscelatore, ma una specifica macchina a spruzzo che ha sia la funzione di miscelare l'impasto che di gettarlo sulla superficie.

Il processo di miscelazione deve essere effettuato nel seguente modo:

1. Gettare il canapulo nel miscelatore;
2. Aggiungere acqua – dove mezzo sacco di canapa (pari a 10 kg) richiede circa 20 lt di acqua;
3. Miscelare per 2–3 minuti. La canapa assorbirà l'acqua velocemente e diventerà leggermente umida;
4. Aggiungere il legante lentamente e lasciare miscelare per 3–4 minuti;
5. Infine aggiungere acqua se necessario, a seconda delle condizioni atmosferiche.

Regole principali:

- Il prodotto finale deve essere umido ma non bagnato;
- La quantità di acqua varia a seconda della temperatura dell'aria – solitamente viene utilizzata più acqua nelle ore pomeridiane rispetto a quelle mattutine;

- Per testare il corretto contenuto d'acqua, prendere una manciata del prodotto finito, comprimere leggermente e riaprire la mano. Se la miscela rimane compatta come una palla il contenuto d'acqua è troppo elevato, se la miscela si sgretola il suo contenuto è troppo basso. Quando la miscela si espande leggermente il contenuto d'acqua è corretto;
- Il bisogno d'acqua varia a seconda delle proporzioni di legante usato;
- Quando viene utilizzata una betoniera, è consigliato svuotare il legante in una carriola e caricare il miscelatore con un badile;
- Al termine della miscelazione i macchinari devono essere abbondantemente risciacquati. Eventuali grumi di legante formatisi sulle braccia del miscelatore devono essere rimossi.

Quando le condizioni metereologiche ed il tempo a disposizione lo consentono, è consigliabile svuotare l'impasto di canapa (anche diversi carichi) su un foglio di cellophane, spargerlo con un rastrello e lasciarlo evaporare per un'ora o due prima dell'applicazione.

Il limite di tempo dalla miscelazione all'applicazione varia da prodotto a prodotto. Ad esempio, considerando i prodotti "Equilibrium": entro due ore per la miscela 1:2,2 (su muri esterni); entro tre ore per la miscela 1:1 (tetto, sottotetto e tra i muri)

3.3.1 Pompe a proiezione

Per l'applicazione a spruzzo del composto di calce-canapa per massetti, muri, coperture e isolamenti di pareti esistenti, è stata messa a punto una macchina nella quale vengono inseriti in scomparti distinti acqua, canapulo e calce. Essa spruzza i tre elementi dagli ugelli spruzzatori direttamente sulla superficie.

La miscelazione tra gli elementi avviene perciò tramite il loro spruzzo nel tragitto tra gli ugelli e la superficie. Questa tecnica permette di ottenere una perfetta aderenza tra il getto in calce-canapa e la superficie di partenza.

Il macchinario necessario per questa tecnica ha un costo elevato ed è più ingombrante della maggior parte dei miscelatori, il vantaggio è però la velocità di posa e l'aderenza tra calce-canapa e supporto, anche irregolare, che con questa tecnica è garantita. La macchina a spruzzo utilizzata da "Batiethic", un'impresa francese specializzata nella tecnica a spruzzo

del composto di calce–canapa, ha un rendimento di 4–8 m³/h, e permette quindi la realizzazione di 60–100 m² di muro in calce–canapa al giorno.

Come già sperimentato da diverse imprese, è anche possibile realizzare la tecnica a spruzzo con macchine più comuni adattate a tale tecnica. In questo caso, prima dell'applicazione, gli ugelli della macchina a spruzzo vanno regolati, va adattato il loro flusso e la loro pressione.

Le pompe a proiezione fornite dall'azienda Italiana “Equilibrium”, specifici per la posa a spruzzo del Natural Beton (biocomposito di calce–canapa dell'azienda stessa), sono composti da tre elementi principali:

- Componente per afflusso del canapulo;
- Componente per miscelazione e afflusso del legante;
- Lancia di spruzzatura.

Le tipologie sono due:

- **Proiecto 100**

Indicata per cantieri di piccole e medie dimensioni, è composta da quattro componenti principali:

- Macchina per afflusso del canapulo;
- Macchina per miscelazione e afflusso del legante;
- Lancia di spruzzatura;
- Generatore.

I componenti sono tutti facilmente manovrabili e trasportabili con un furgone.

- **Proiecto 1000**

Indicata per cantieri di grandi dimensioni, in cui sono richieste alte rese di posa.

È composta da tre elementi principali:

- Macchina per afflusso del canapulo;
- Macchina per miscelazione e afflusso del legante;
- Lancia di spruzzatura.

I primi due macchinari sono carrellati per un'agevole movimentazione, sono autonomi ed alimentati da due distinti motori diesel. Non necessitano pertanto di corrente elettrica sul cantiere.

3.3.2 Applicazione

L'applicazione del getto in calce–canapa può essere effettuata a getto od a spruzzo. La scelta di un metodo rispetto all'altro dipende dalla disponibilità del macchinario a spruzzo e dalla portata dell'opera, ma non influisce necessariamente sul risultato. La tecnica a spruzzo si differenzia per una maggiore velocità di posa, essa viene per questo normalmente utilizzata per realizzare opere di maggiore portata.

Necessita però di una superficie sulla quale spruzzare, quindi nel caso di strutture nuove a telaio, essa implica solitamente l'impiego di casseri a perdere. L'applicazione manuale dei muri richiede invece la preventiva posa di casseri, che in genere vengono rimossi dopo il getto per permettere una più facile asciugatura. Massetti e riempimenti sia orizzontali che inclinati, possono essere indifferentemente realizzati con entrambi i sistemi, ossia quello a mano e quello a spruzzo. Le finiture vengono invece applicate a mano: esse richiedono infatti la manualità dell'operatore per la stesura dello strato finale, e possono essere successivamente lavorate o a mano o con una frattazzatrice meccanica a seconda del tipo di lavorazione richiesto. Esse richiedono la manualità dell'operatore sia per la stesura dello strato sottile di materiale che per la sua lavorazione finale con il frattazzo.

3.3.3 Asciugatura

La natura igroscopica della calce–canapa gli conferisce delle tempistiche di asciugatura lunghe rispetto a quelle di altri materiali, ed è importante che il materiale sia asciutto prima dell'applicazione di eventuali intonaci o rivestimenti. L'asciugatura è strettamente connessa al tipo di legante utilizzato: se si usa unicamente calce aerea i tempi si prolungano di molto rispetto all'uso di un legante a base di calce aerea e idraulica oppure di sola calce idraulica. Nel caso delle murature realizzate con legante premiscelato a base di calce idraulica e aerea, nonostante i tempi di asciugatura dipendano molto anche dai fattori climatici, si può considerare indicativamente un tempo di asciugatura di due o tre settimane (ossia, i tempi di asciugatura medi per il clima del nord Italia nella stagione primaverile–estiva) per l'applicazione manuale e di una settimana o dieci giorni per quella a spruzzo (Bevan & Woolley, 2008).

L'applicazione a spruzzo necessita di tempi di asciugatura inferiori perché la sua applicazione avviene mediante strati successivi. Sulle variazioni di queste tempistiche influiscono comunque i fattori di temperatura, vento e di umidità dell'aria.

3.3.4 Finiture e rivestimenti

Nella scelta di finiture e rivestimenti per superfici in calce–canapa va innanzitutto considerata la capacità di traspirabilità del materiale. Esso non dovrebbe infatti ostacolare in alcun modo la permeabilità al vapore del calce–canapa. Per questo non possono essere applicate vernici ed intonaci a base di polimeri, ma sono invece indicate finiture a base di calce, di calce–canapa e di terra. Internamente questi materiali naturali, disponibili in moltissime tonalità e sfumature, conferiscono all’ambiente una sensazione calda, oltre che a contribuire alla salubrità dell’ambiente interno. Esternamente, dove il contatto con gli agenti atmosferici non permette l’impiego di intonaci in calce–canapa ed in terra, è indicato l’impiego di intonaci a base di calce oppure di rivestimenti in legno. I rivestimenti in legno vengono fissati ad un’orditura esterna di listelli, agganciata alla struttura in legno, formando una facciata ventilata. Nei sistemi costruttivi in blocchi, per ottenere una superficie esterna uniforme, viene consigliato di attendere circa un mese prima dell’applicazione dell’intonaco esterno, in maniera che non vi sia alcun rischio che la malta di giunzione sia ancora bagnata. Viene consigliato di applicare l’intonaco in due strati a distanza di quindici giorni l’uno dall’altro, in questo modo con la seconda passata possono essere corrette le eventuali difformità create dopo l’asciugatura del primo strato. In caso di clima molto secco ed umido si consiglia anche di riumidificare l’intonaco appena dopo l’applicazione.

Nei sistemi a blocchi l’applicazione di rivestimento in legno implica comunque l’applicazione di uno strato di intonaco protettivo per i blocchi. In questi sistemi il rivestimento in legno può essere ancorato direttamente ai blocchi con delle viti di 10–15 cm.

3.4 Proprietà e caratteristiche del composto

3.4.1 Isolamento termico

Il truciolato di canapa è ricco di microscopici alveoli colmi di aria in cui si susseguono continui processi di micro–condensazione e micro–evaporazione in grado di bloccare il passaggio di caldo e freddo dall’esterno all’interno dell’edificio e viceversa.

La massa importante permette di accumulare calore e di rilasciarlo lentamente con un effetto simile a quello percepito nelle case con muri di pietra: fresco d’estate e caldo d’inverno.

Secondo i risultati del test condotto da BRE (2002) ad Haverhill, il *valore-U* dell'edificio costruito con il biocomposito era più alto di quello misurato nell'edificio standard.

Nonostante ciò, la temperatura media interna nella struttura a canapa e calce è rimasta di 2°C più alta rispetto a quella riscontrata nell'edificio standard. È stato quindi concluso che il *valore-U* non è il metodo più appropriato per valutare la performance termica del cemento di canapa e calce (Wolley, 2006).

Nonostante questo, sono stati molti gli studi sul calcolo della trasmittanza U , in base allo spessore, al metodo di mixaggio e di compattazione, tra cui:

- Con un muro spesso 300 mm, il *valore-U* misurato è di 0,3 W/mqK, di 0,22 W/mqK per 400 mm e di 0,18 W/mqK per 500 mm (Lime Technology, 2006).
- Da varie costruzioni e miscele ottenuti da studi svolti, la trasmittanza risulta 0.89 W/m²·K per una parete di spessore 310 mm con miscela vibrata e compattata (Bütschi et al., 2004), rispetto a 0.37 W/m²·K per una parete di spessore 300 millimetri e 0.23 W/m²·K per una parete di spessore 500 mm (BBA, 2010), calcolato secondo la norma BS EN ISO 6946: 2007 e il rapporto BRE* (BR 443: 2006).

In questo ultimo caso, va notato che la valutazione della trasmittanza non tiene conto di massa termica e trasferimento termico dinamico.

Stessa cosa si è fatto sulla conducibilità termica (dipendente dalle stesse caratteristiche della trasmittanza):

- I valori di conducibilità termica in una serie di studi su una parete in calce-canapa tra 0,06 e 0,13 W / (m · K) in funzione della densità e della composizione della miscela. In particolare, gli studi di Cerezo (2005) riporta valori di 0,06–1,0 W / (m · K) per miscele a bassa densità (200 kg / m³) e da 0,1 e 0,13 W / (m · K) per le miscele di densità media (450 kg / m³).
- La conducibilità termica per i blocchi in calce-canapa è influenzata dalla sua funzione (se termica o strutturale), e dal metodo di mixaggio e dal metodo di compattazione .

Per i blocchi di calce–cemento–canapa registrare un valore di $0.34 \text{ W} / (\text{ m} \cdot \text{ K})$ (Bütschi et al . , 2004) mentre i blocchi di calce–canapa analizzati da “Elfordy et al.” (2007) avevano valori compresi $0,179–0,543 \text{ W} / (\text{ m} \cdot \text{ K})$.

Dei test di conduttività termica svolti su alcuni prodotti dell’azienda Equilibrium:

- *Campione:* Pannello Biomattone in Natural Beton in calce idraulica naturale e legno di canapa.
Resistenza Termica: $0,7674 \text{ m}^2\text{KW}^{-1}$
Conduttività Termica: $0,08190 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$
- *Campione:* Natural Beton in calce idraulica naturale e legno di canapa a BASSA DENSITA’ 1:1

– A Temperatura di misurazione 10°C

Resistenza Termica: $0,757 \text{ m}^2\text{KW}^{-1}$

Conduttività Termica: $0,053 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$

– A Temperatura di misurazione 23°C

Resistenza Termica: $0,704 \text{ m}^2\text{KW}^{-1}$

Conduttività Termica: $0,057 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$

Alcuni studi hanno riportato, riguardo le capacità termiche dei composti in calce–canapa, e, in particolare, alla sua buona capacità di accumulo termico , che possono migliorare la stabilità della temperatura interna e il regolamento igroscopico (Bevan R & Woolley 2008) (Evrard et al . , 2006)

Si è voluto quindi concentrarsi sull’inerzia termica. I test svolti dal BRE ad Haverhill, hanno confermato che il biocomposito di canapa e calce possiede una buona inerzia termica, la quale è di circa 18,75 h per uno spessore di 30 cm. Prendendo ad esempio un tamponamento in laterizi e isolante si arriva generalmente a 12 h. Questa proprietà è importante specialmente in zone con clima caldo.

Invece, dal sito Equilibrium, si nota che, avendo massa dai 200 ai 350 kg/mc, i muri e gli isolamenti realizzati si scaldano e raffreddano molto lentamente, ottenendo uno sfasamento termico che varia dalle 8 alle 17 ore, simile a quello dei muri costruiti in pietra e mattoni

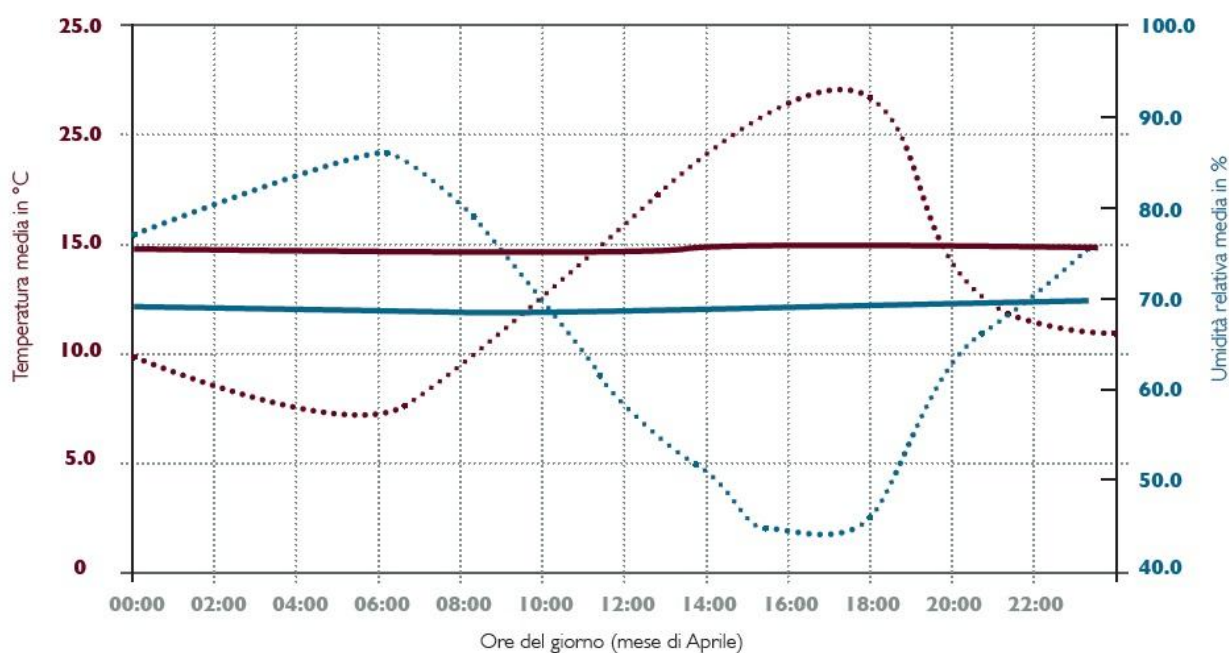
con larghezze oltre i 60 cm.

Quando il biocomposito viene esposto al sole si scalda in modo molto limitato, e quando la temperatura esterna scende è in grado di rilasciare il calore bilanciando la differenza di temperatura tra ambiente interno ed esterno.

È molto importante evidenziare come i sistemi isolanti a base di canapa e calce impediscono il passaggio di calore dall'ambiente interno a quello esterno e viceversa, limitando gli sbalzi di temperatura che avvengono durante la giornata o col susseguirsi delle stagioni.

La temperatura interna all'edificio, così come il livello di umidità, vengono mantenute pressochè costanti.

Temperatura e Umidità (interne/esterne)



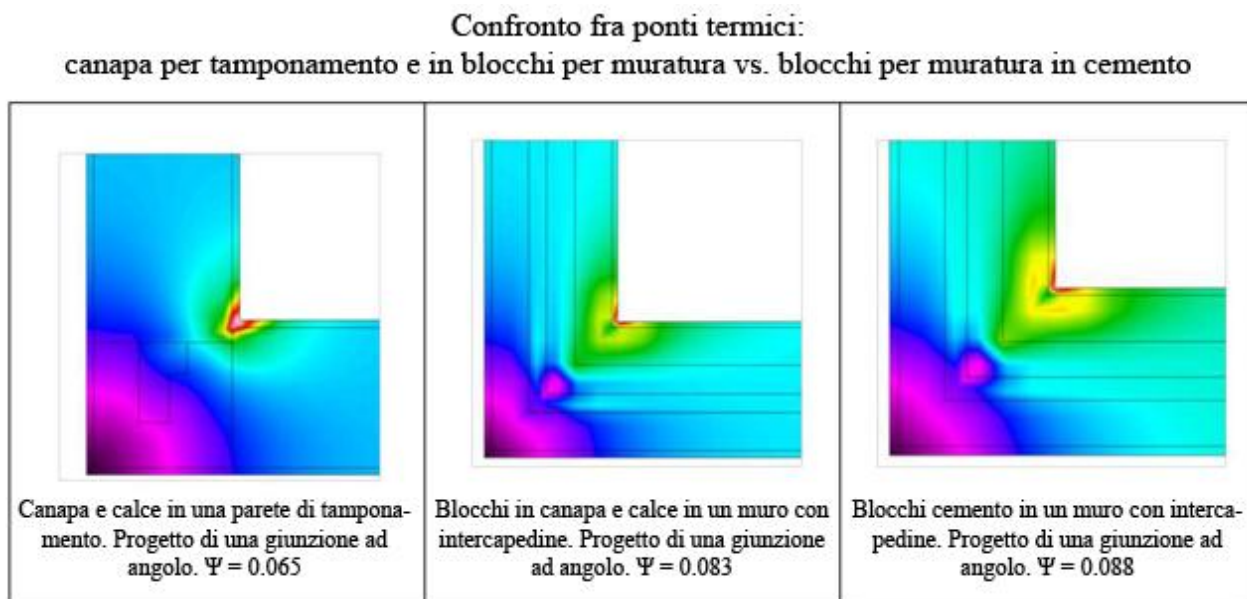
Legenda: — Temperatura — Umidità Temperatura Esterna Umidità Esterna

Un secondo rapporto redatto da BRE (2003) che consiste in un'ispezione termografica, ha rilevato che la temperatura esterna dell'edificio di canapa e calce era di circa 5°C inferiore a quella dell'edificio standard. Il biocomposito elimina quindi ogni forma di ponte termico isolando completamente la struttura portante in legno. Inoltre la costruzione si è dimostrata essere a tenuta d'aria, evitando così ogni perdita di calore.

dall'interno.

3.4.1.1 Ponti termici

I valori di conducibilità termica del cemento di canapa e calce sono generalmente superiori al calcestruzzo e possono avere ulteriori vantaggi in termini di riduzione della trasmissione termica in corrispondenza dei nodi, il che riduce la perdita di calore in generale.



Fonte: BESRaC, 2010 Linear Thermal Transmittance Modelling using Therm 5.2

La figura sopra confronta una tipica giunzione ad angolo esterno di un tradizionale muro in blocchi di calcestruzzo caratterizzato da un'intercapedine intermedia con un muro in blocchi di canapa e calce e un muro di tamponamento in canapa e calce con telaio strutturale in legno.

L'esercizio mostra che la giunzione di un muro di tamponamento in canapa e calce ha il valore più basso ψ di 0.065 ottenendo una riduzione del 26% nella perdita di calore attraverso la giunzione stessa rispetto a quella realizzata in blocchi di cemento. Si vede inoltre che utilizzando un blocco di calce e canapa anziché di cemento, si ottiene una riduzione del 5,7% nella perdita di calore attraverso la giunzione.

La minima temperatura superficiale calcolata sui tre nodi è 18 °C circa che soddisfa i valori minimi, evitando la formazione superficiale di muffe e condensa

Con l'utilizzo del getto in calce-canapa si può evitare la formazione di ponti termici grazie alla natura omogenea del materiale. Il getto in calce-canapa può essere posato in continuità permettendo la realizzazione di punti di giunzione tra pareti, pavimenti e coperture con un materiale isolante unico.

Un altro rapporto redatto dalla BRE nel 2003 tramite un'ispezione termografica, ha rilevato che l'assenza di ponti termici (Ronchetti 2007).

3.4.1.2 Proprietà termiche dinamiche

Gli studi hanno dimostrato l'importanza dell'accumulo e rilascio termico della calce-canapa, che potrebbe fornire prestazioni termiche supplementari.

Una simulazione effettuata utilizzando il software WUFI mostra che per un muro in canapa e calce di spessore 250 millimetri soggetto al repentino raffreddamento di 20 °C ci vogliono 72 ore per raggiungere uno stato costante di trasferimento di calore rispetto alle 30 ore per un muro in calcestruzzo cellulare e 12 ore per una parete in lana minerale dello stesso spessore. L'energia persa dal conglomerato di canapa e calce nelle prime 24 ore è 187 kJ/m², che equivale a una perdita di calore media di 0.11 W/m²·K, nonostante il valore teorico U per un muro in canapa e calce di questo spessore sia di 0.29 W/m²·K. Questa è la prova di come le prestazioni termiche dinamiche possono essere diverse dalle previsioni sulla base dei dati di stato stazionario o valori U. La stessa simulazione fornisce la prova della capacità del conglomerato di canapa e calce di smorzare quasi completamente (98,5%) una variazione sinusoidale della temperatura esterna da 20 °C a 0 °C in un ciclo di 24 ore con una transizione di tempo di 15 ore. Il tempo di ritardo della temperatura di picco si ottiene attraverso la parete. Ciò a fronte di un'attenuazione del 77.5% per la lana minerale, in differita di solo 6 ore e con uno smorzamento del 95% per il calcestruzzo cellulare con un ritardo di 10.5 ore.

Conclusioni simili sono state raggiunte in un altro studio in cui il conglomerato di canapa e calce viene confrontato con mattoni di argilla e calcestruzzo cellulare.

I materiali sono sottoposti a diverse condizioni di temperatura e umidità relativa. La calce-canapa è caratterizzata da variazioni di temperatura inferiore e raggiunge uno stato stazionario dopo ogni modifica, a differenza degli altri due materiali dove la temperatura

continua ad aumentare o diminuire all'interno del muro. In termini di umidità relativa, la calce-canapa mostra variazioni importanti (circa il 15 %), rispetto ad altri materiali per i quali l'evoluzione di UR è piuttosto costante (Arnaud, 2009).

3.4.2 Respirabilità e resistenza all'umidità

Correlandosi sempre al benessere igroscopico precedentemente già nominato, il legno di canapa (canapulo), possiede eccezionali capacità igroscopiche: la struttura è ricca di microalveoli, nei quali è in grado di assorbire grandi quantità di vapore acqueo.

Il biocomposito di canapa e calce combina la permeabilità al vapore della calce all'igroscopicità della canapa, vale a dire la capacità del canapulo di assorbire elevate quantità di vapore acqueo.

I muri ed i pavimenti di un edificio a base di canapa e calce possono "respirare" assorbendo l'umidità e successivamente rilasciandola attraverso l'evaporazione.

Regolando, quindi, l'umidità, assorbe quella in eccesso e la rilascia quando l'aria è troppo secca, come fosse un umidificatore. Questa caratteristica evita lo sviluppo di umidità ed il relativo deterioramento all'interno del materiale, e favorisce la riduzione del livello di umidità all'interno dell'edificio. L'effetto complessivo è un ambiente più salubre e naturale, che necessita oltretutto di un minore condizionamento dell'aria.

Un kg di canapulo (10 litri di volume) può immagazzinare, se immerso, fino a 3,76 litri di acqua allo stato liquido e, parlando di vapore acqueo, dalle 12 alle 20 volte il proprio volume.

Grazie all'assenza di condensa, non degrada, rendendo il materiale più durevole

Consideriamo ora due esempi di studio su questa proprietà:

- **Lastre per piano terra**

Lastre per il piano terra in canapa e calce, opportunamente progettate, con membrane a prova di umidità idonee o altre opere, potrebbero soddisfare i requisiti per la protezione contro l'umidità. I requisiti di resistenza tuttavia potrebbero richiedere un'aggiunta maggiore di cemento. Alcuni sostenitori, come Ralph Carpenter, hanno affermato di aver progettato con successo e costruito "piani di respirazione" con l'utilizzo di canapa e calce miscelata per pavimenti, senza l'utilizzo di membrane a prova di umidità.

- **Pareti**

Le pareti in canapa e calce sono in genere rifinite con uno strato di rifinitura esterna in calce e la revisione della letteratura sulle costruzioni in canapa e calce non ha indicato alcuna prova di guasti dovuti alla penetrazione dell'umidità. È importante sottolineare che l'esperienza storica nell'uso di calce come rifinitura su pietra, argilla e muri in terra, ha indicato una buona resistenza all'umidità nonché una buona durata dell'opera.

Test di penetrazione all'acqua furono effettuate dal BRE per il progetto Haverhill su pareti intonacate con una miscela di canapa e calce e spessi 200 millimetri. Un mulinello rotante è stato impiegato per applicare livelli d'acqua simili a un anno di pioggia guidata dal vento in posizione gravemente esposta oppure a cinque anni in altre posizioni. Il tutto è stato svolto per un periodo di 96 ore dopo che l'assorbimento aveva raggiunto una profondità media di 50–70 mm. La prova di spruzzi d'acqua non faceva parte di alcun metodo di prova standard britannico. È stato originariamente testato per integrare i risultati ottenuti dai test idrorepellenti con i metodi indicati in BS 6477:1992 – idrorepellenti per superfici murarie. Tuttavia il test simula una esposizione severa e una massiccia applicazione di acqua per un breve periodo con risultati positivi.

3.4.2.1 Considerazioni

Mentre ci sono pochi dati misurabili sulla resistenza all'umidità del conglomerato di canapa e calce e delle sue applicazioni pratiche, il test BRE e l'evidenza storica delle rifiniture in calce indicano che opportune opere e dettagli in canapa e calce realizzati con l'utilizzo di materiali certificati, dovrebbero essere in grado di fornire una ragionevole resistenza all'umidità.

Secondo altri pareri, al fine di assicurare la corretta applicazione del materiale ed evitare danni dovuti all'umidità, occorre una particolare attenzione soprattutto al livello di umidità del conglomerato di canapa e calce stesso e al tempo atmosferico nel periodo di applicazione del prodotto. Il conglomerato di canapa e calce ha bisogno di un adeguato livello di umidità per poter essere applicato e impostato. La troppa umidità può causare un ritardo nella disidratazione delle pareti e come tale un ritardo nell'occupazione, soprattutto considerando che il processo di essiccazione è lenta nel caso normale. Questo ha un

impatto sull'impiego di intonaci e rifiniture, l'impiego dei quali inoltre dovrebbero essere evitati durante le stagioni più fredde a causa del rischio di danni causati dal gelo.

3.4.3 Isolamento acustico

Performance inferiori rispetto a quelli costruiti con metodi tradizionali, ma nonostante ciò hanno soddisfatto i requisiti di resistenza acustica. (Confermati dal Rapporto di Mappatura per il Certificato LEED)

È altamente fono assorbente, soprattutto quando la sua superficie viene lasciata grezza senza intonaco.

Partendo da alcuni test di performance acustiche effettuati a Haverhill (BRE, 2002) in una casa con struttura in legno con muri di tamponamento in canapa e calce e in una casa di blocchi e mattoni tradizionali, le tramezze in canapa e calce erano costituite da due strati da 150 millimetri di spessore con un perno da 100 mm e un'intercapedine da 75 millimetri. Le altre due stanze erano separate da blocchi da 100 millimetri per entrambi i lati e con un'intercapedine da 100 mm. I test sono stati effettuati secondo la norma BS EN ISO 140: Part 4 (1998). I risultati hanno mostrato una riduzione del suono di 57 e 58 dB sui muri in canapa e calce testati contro una riduzione del suono 63 e 64 dB per le pareti in muratura. Tuttavia le pareti in canapa e calce non rispettavano ancora i requisiti minimi stabiliti nel 1991 dalla normativa britannica allora vigente, che era mediamente di 53 dB per pareti divisorie.

Alcune prove acustiche sono state effettuate anche in uno studio che ha esaminato le proprietà dei blocchi strutturali in canapa e calce (Bütschi et al., 2004). In questo caso la riduzione del suono, che è stata testata in conformità secondo la norma ISO 140/III, variava tra 43 e 47 dB, con una variazione della densità del materiale di 630–730 kg/m³. Riguardo l'assorbimento acustico varia tra 0,3 e 0,9 (Cerezo, 2005).

3.4.3.1 Considerazioni

Esistono dati in numero limitato per quanto riguarda la sperimentazione volta a testare le proprietà acustiche del conglomerato di canapa e calce per costruzioni.

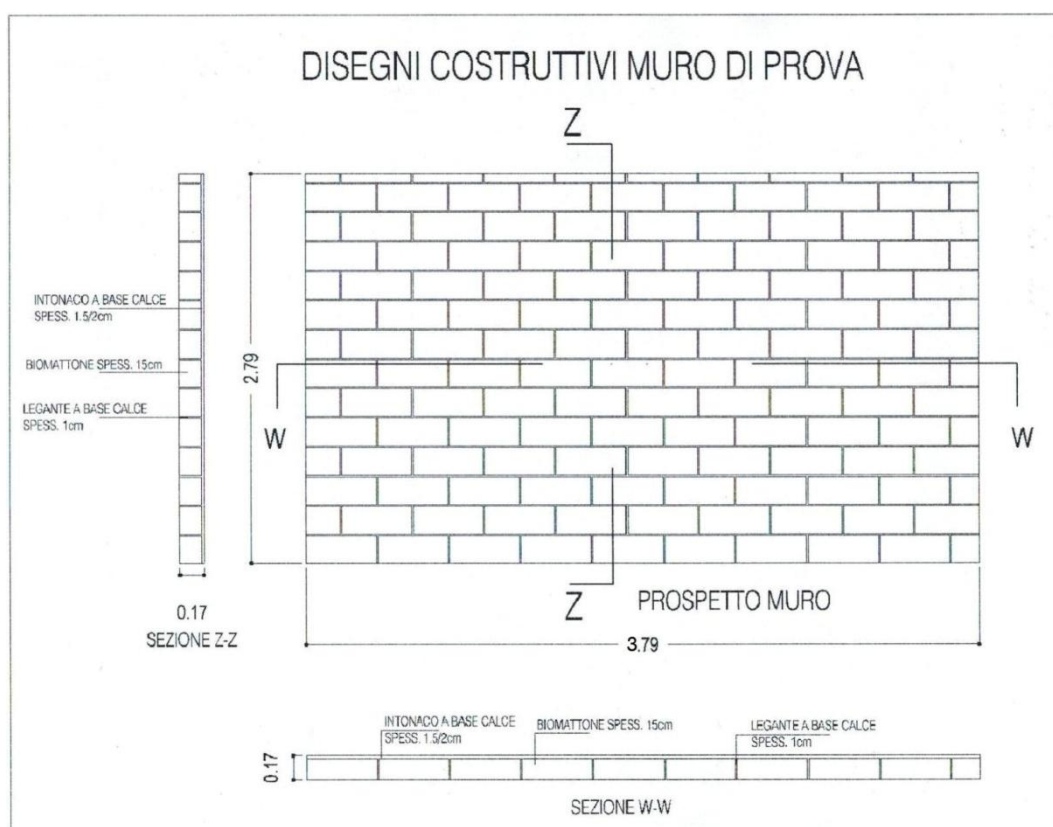
France Pèrier afferma che il biocomposito di canapa e calce è altamente fonoassorbente, soprattutto quando la sua superficie viene lasciata grezza senza intonaco.

Ulteriori ricerche sono al momento in corso per massimizzare il potenziale del biocomposito affinché possa essere utilizzato in applicazioni come isolante acustico.

Inoltre è auspicabile lo sviluppo di ulteriori ricerche in due campi:

- Le proprietà acustiche dei materiali in relazione ai leganti, alle miscele, alla compattazione, alle applicazioni, ecc.
- Soluzioni costruttive e dettagliate differenti.

In Italia, Equilibrium ha effettuato dei test sull'indice di attuazione acustica del Biomattone



In base a tre campioni distinti si sono ricavati risultati diversi:

1) *Campione*: Pannello Biomattone in Natural Beton in calce idraulica naturale e legno di canapa. Muro singolo senza intonaco.

Potere Assorbente: $R_w (C;C_{tr}) = 22 (-1;-3)$ dB

2) *Campione*: Pannello Biomattone in Natural Beton in calce idraulica naturale e legno di canapa. Muro singolo con intonaco.

Potere Assorbente: $R_w (C;C_{tr}) = 34 (-1;-0)$ dB

3) *Campione*: Pannello Biomattone in Natural Beton in calce idraulica naturale e legno di canapa. Muro singolo con doppio intonaco.

Potere Assorbente: $R_w (C;C_{tr}) = 50 (-1;-4)$ dB

Poichè la massa della calce–canapa dipende dalle proporzioni della miscela, dalla densità del materiale e dal processo di fabbricazione, le proprietà acustiche possono essere migliorate anche in base a determinati metodi di costruzione.

3.4.4 Sequestro del carbonio

L'anidride carbonica (CO₂) è un gas serra considerato come il principale responsabile del riscaldamento globale. Per questo motivo, si stanno facendo sforzi a livello internazionale al fine di ridurre l'emissione di gas serra in generale (anidride carbonica inclusa) e riportarla sotto i livelli del 1990, come dettato dal protocollo di Kyoto.

Il settore edilizio incide maggiormente sulle emissioni di carbonio (pari a circa il 56,7%) rispetto a tutti gli altri settori messi insieme.

Gli ambiti principali di questa incidenza sono due:

- **L'utilizzo dell'edificio** (riscaldamento, illuminazione, aria condizionata). In questo caso la diminuzione del carbonio utilizzato è associata ai miglioramenti tecnici nell'isolamento, ai sistemi d'illuminazione, riscaldamento e raffreddamento più efficienti e ad una riduzione delle perdite a causa di ponti termici e scarsa resistenza all'aria;
- **La produzione**, la cui diminuzione è dovuta al fatto che si immette meno energia nel processo produttivo grazie a cementi a basso contenuto di carbonio e alla sostituzione dei materiali con un'alta concentrazione di carbonio in favore di altri con un livello inferiore. Altro motivo di interesse è rappresentato dai materiali da costruzione che isolano CO₂, ovvero quei materiali naturali che assorbono l'anidride carbonica tramite la fotosintesi, trattenendola così all'interno delle proprie fibre finché l'edificio esisterà.

Il campo di interesse della canapa è proprio quest'ultimo, cioè la produzione. Infatti assorbe diossido di carbonio (CO₂) dall'atmosfera durante la sua crescita. Secondo Pervais (2003), 325 Kg di CO₂ vengono catturati in una tonnellata di canapa secca. Lime

Technology (2006) afferma che vengono sequestrati 110 Kg di CO₂/mc nell'edificio quando il biocomposito viene spruzzato, che diventano 165 Kg di CO₂/mc quando viene gettato e pressato all'interno dei pannelli temporanei di contenimento. Le stime citate già tengono conto della CO₂ emessa durante la preparazione della calce.

Un'ulteriore dimostrazione viene fornita da Woolley e Bevan (2007) quando dichiarano che 31 Kg di CO₂ per mq vengono conservati in un muro di biocomposito dello spessore di 300 mm, che diventano 53Kg/mq con uno spessore di 500 mm. Ulteriori risparmi di emissioni di CO₂ sono una conseguenza diretta della performance termica della costruzione a canapa e calce che riduce il fabbisogno di riscaldamento dell'edificio (Rhydwen, 2006).

Un metro cubo di Natural Beton 200 sequestra dall'atmosfera 60 kg di CO₂, mentre un metro cubo di Biomattone circa 18 kg.

Il nucleo della canapa assorbe 2,1kg di CO₂ equivalente per kg, quindi un muro di 1 m², spesso 300mm, composto da pannelli di legno e da intonaco in calce e realizzato con una miscela di 1:2 può trattenere l'equivalente di 75,7kg di CO₂, con un netto di tutte le emissioni (inclusi trasporto, fabbricazione e costruzione) pari a -35,5kg. Ovvero l'impronta di carbonio va in "negativo" rispetto al totale della costruzione grazie all'elemento parete.

C'è anche qualche controversia circa i livelli di emissione e di carbonatazione in relazione ai leganti in calce. Dell'anidride carbonica viene emessa quando il calcare viene bruciato nel forno sia a causa della combustione di combustibili fossili, nonchè dalla reazione chimica per la quale il carbonato di calcio diventa ossido di calcio. Lo stesso gas viene riassorbito dal legante di calce durante il processo di carbonatazione, tuttavia è difficile dire se tale importo compensa pienamente la quantità che è stata emessa nella fase precedente nel ciclo della calce.

Bevan e Woolley hanno evidenziato la necessità di una valutazione ambientale indipendente da intraprendere. Uno studio di LCA ha mostrato una riduzione netta delle emissioni di gas serra nel corso di un ciclo di vita di 100 anni, a causa dello stoccaggio di CO₂ equivalente nei materiali utilizzati, principalmente la canapa. Ulteriori risparmi di emissioni di CO₂ sono una conseguenza diretta della performance termica della costruzione in canapa e calce che riduce il fabbisogno di riscaldamento dell'edificio, andando, quindi, a influire anche sul primo ambito, cioè l'utilizzo dell'edificio.

3.4.5 Resistenza all'incendio

Nel 2009 BRE ha effettuato una prova di resistenza al fuoco su una struttura con una pianta di dimensioni 3x3 m secondo il sistema Tradical ® Hemcrete ®, non rifinita o intonacata e le pareti realizzate secondo la BS EN 1365-1:1999. Il muro è stato oggetto di un carico verticale imposto di 135 kN e fu gettato in strati di mix di canapa e calce, versato in uno stampo, e comprendeva otto perni verticali in legno. La faccia interna della parete è stata esposta al fuoco e ha resistito per 73 minuti, in relazione all'integrità, isolamento, e capacità di carico, con la prestazione di resistenza invariata prima della rottura. Questa prova ha fatto parte della loro certificazione BBA.

Alcune delle prove di cui sopra, in particolare la prova del BRE, che era quella descritta nella EN 1365-1 sono state condotte su delle pareti non rifinite o intonacate. Per questo è probabile che le performance risultino essere migliori con l'aggiunta di un intonaco di calce o di una rifinitura.

3.4.5.1 Diffusione e reazione al fuoco

Sono stati effettuati alcuni test per il produttore francese di isochanvre, dal Centro Scientifique et Technique du Bâtiment, (rapporto verbale n. 9.233.709 e n. RA01-397). Essi classificano il mix di canapa e calce per pareti come M1, migliorando di M0 con ulteriore carbonatazione del legante (isochanvre, 2001). Un rapporto simile allo stesso centro sul canapulo sciolto in isochanvre, classifica questo materiale come M2, che è a "bassa infiammabilità" (rapporto di prova n. 97/MPX-L/123/350). Da questi test France Pèrier conclude che il conglomerato di canapa e calce è stato classificato come "resistente alla fiamma" senza rilascio di fumi tossici o D-infiammabili. Afferma inoltre che il conglomerato abbia resistito ad un test di quattro ore a temperature superiori a 1800 °C.

3.4.5.2 Considerazioni

Ci sono dati limitati ottenuti dai test sulla diffusione delle fiamme per il conglomerato di canapa e calce per costruzioni. Rimane un ampio margine per ulteriori esperimenti. In particolare si possono variare le caratteristiche del conglomerato di canapa e calce come la composizione del mix, la densità ecc. nonché la risposta per diverse soluzioni costruttive.

3.4.6 Protezione dalle infestazioni

La canapa non è appetibile a topi e ratti, i quali non sono nemmeno attratti dalla calce che è stata anche utilizzata per centinaia di anni per mantenere livelli di igiene. L'uso della calce nel corso della storia dimostra come sia adatta per preservare le fibre naturali e proteggerle da ogni forma di infestazione.

Resistenti anche alla formazione di muffe e batteri.

3.4.7 Riciclabilità

Al termine della sua vita utile, il biocomposito è totalmente riutilizzabile: una volta frantumato basta rimpastarlo con acqua e calce.

Tutti i materiali di risulta, sia per demolizioni che per scanalature o tagli, possono essere facilmente sgretolati e nuovamente impastati aggiungendo acqua e calce in betoniera per la realizzazione di sottofondi, per l'isolamento di intercapedini o per la realizzazione di malta d'allettamento e intonaci.

Questa proprietà viene valorizzata dalla biodegradabilità dei singoli composti: il materiale, se smaltito, si decompone naturalmente essendo privo di sostanze tossiche o di origine sintetica.

Essendo costituito principalmente da canapulo, una biomassa, e in secondo luogo dalla calce carbonata, il mix di calce e canapa avrebbe un impatto ambientale minimo se inviato in discarica. In alternativa può anche essere possibile spezzettare il prodotto dismesso e disperderlo sul terreno o sopra i campi agricoli, dove il canapulo si decomporrebbe diventando compost e la calce (carbonato di calcio) si fonderebbe con il suolo. A tal fine può essere recuperato, tritato e spalmato su aiuole o campi per aumentare il pH del suolo, introdotto come una pacciamatura.

Questo vale per qualsiasi forma di applicazione in canapa e calce, che si tratti di muri monolitici, mattoni o blocchi.

3.4.8 Tossicità

La tossicità del conglomerato di canapa e calce e in particolare al processo di produzione ed utilizzo nelle costruzioni è limitata alla produzione di polveri. Possono irritare le vie

inalatorie e fanno parte di ossidanti fotochimici. Il biocomposito in canapa e calce è un materiale naturale con nessuna o pochissima tossicità o a basse emissioni di gas, quindi la sua tossicità durante il processo di demolizione è molto limitata.

3.4.9 Energia Incorporata

Sono state eseguite diverse analisi energetiche sui prodotti di canapa e calce. Quando la produzione di canapa è costituita da un 60% di canapulo e da un 40% di fibra, la quantità di energia primaria utilizzata per la produzione di canapulo è pari a 2.1 MJ/kg (INRA, 2006). Un valore maggiore di 3.8 MJ/kg è stato riferito da Clark (2009). La calce calcinata (ossido di calcio) richiede 4.5 MJ/kg per la sua produzione (Berge, 2000). Un valore di 5.3 MJ/kg è segnalato per la calce idrata e idraulica in Hammond & Jones (2008). Va notato, tuttavia, che l'analisi dell'energia incorporata nei materiali da costruzione si basa sulla densità e la quantità del materiale per volume e non solo sulla base del peso.

3.4.10 La resistenza a compressione

Dipende dalle proporzioni del mix, dalla compattazione, dall'applicazione e dalla destinazione d'uso.

Per la canapa calce usata per il tamponamento, i valori di resistenza a compressione segnalati nel rapporto di Cerezo (2005) vanno da 0,25 a 1,15 MPa, comparati con i valori da 0,46 a 0,84 N / mm², trovanti con la prova "Cellular plastic" (BS ISO 844 : 1998) (BRE 2002). I test effettuati da "Bütschi et al." (2003 e 2004) su blocchi di calce-cemento-canapa mostrano resistenza a compressione che vanno 1.3 e 3.4 MPa, con i risultati di Chew & MacDougall (2007) raggiungere valori di resistenza a compressione fino a 13.58 N / mm², basata su una significativa aggiunta di cemento.

3.4.11 Densità

La costruzione in calce-canapa è meno densa di quella in muratura, con densità tipiche di 300-450 kg / m³ per la poso a mano e densità ancora più bassi quando la miscela è applicato a spruzzo (Bevan & Woolley, 2008).

Le densità possono variare anche per le funzioni, che possono essere strutturali o termiche. Nei blocchi termici la densità varia da 300 a 500 kg / m³ (Chanvribloc, 2010; Lime

Technology , 2009a), mentre i blocchi strutturali tra 600 e 1200 kg / m³ (Lime Technology , 2009b ; Bütschi et al , 2003; . . Bütschi et al, 2004).

Come si denota, la costruzione in calce–canapa non ha una densità come il cemento.

3.5 Confronti tra costruzioni in calce–canapa e materiali tradizionali

Sono stati molti gli studi che hanno messo a confronto le costruzioni in calce–canapa con quelle in materiali tradizionali. Di seguito alcuni esempi.

3.5.1 Studio LCA nella Tesi “Edilizia a basso impatto ambientale: analisi del ciclo di vita di materiali naturali a base di calce–canapulo” di Cristian Colombo e Ottavio Ruggieri

Si affrontano due studi differenti sull’analisi del ciclo di vita LCA di alcune stratigrafie per confrontare 1 m² di muratura di tamponamento perimetrale su nuova costruzione.

Il primo studio propone di analizzare gli impatti di sei pacchetti stratigrafici divisi per due valori di trasmittanza differente, ovvero per $U= 0,34 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ e per $U= 0,13 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. Le stratigrafie, riferite ad 1 m² di parete, sono composte da materiali differenti che comprendono da un lato l’utilizzo del Biomattone, dall’altro l’impiego del mattone in laterizio affiancato ad un isolante naturale o un isolante sintetico. Questo tipo di analisi si prefigge lo scopo di confrontare, a parità di trasmittanza, queste tipologie di muri e di valutare, attraverso alcuni indicatori, il vantaggio dell’impiego del Biomattone nel settore dell’edilizia.

L’analisi degli impatti viene svolta a parità di trasmittanza, in quanto confrontare due muri di trasmittanza differente non ha senso in uno studio del genere, perchè questo parametro influisce sulla quantità dei materiali utilizzati in fase di costruzione e quindi sui risultati finali dell’analisi.

Questo tipo di studio cerca di dare una valutazione degli impatti associati all’impiego di differenti materiali edilizi, per l’ottenimento di prestabiliti valori di trasmittanza termica e quindi verificare qual è la soluzione progettuale meno impattante.

Non vengono presi in considerazione eventuali consumi di acqua e di energia dovuti alla fase di costruzione, in quanto queste operazioni vengono fatte a mano e quindi non producono impatti.

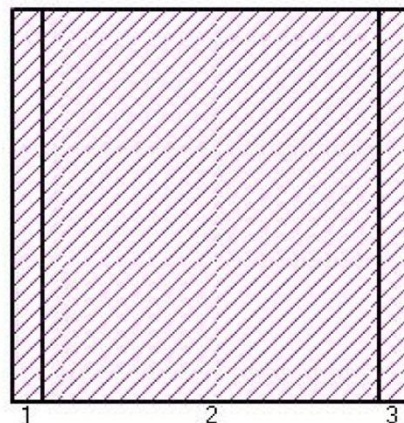
La scelta del tipo di materiale utilizzato nella costruzione dei sei pacchetti stratigrafici nasce dal voler comparare il Biomattone, che da solo svolge sia la funzione autoportante che isolante, alle alternative più classiche che integrano all'impiego del mattone in laterizio un pannello di isolante, sintetico o naturale.

3.5.1.1 Stratigrafie:

1) **Struttura A1:** Muratura di tamponamento isolata con biomattone da 21,5 cm con

$$U=0,34 \text{ W/m}^2\text{K}$$

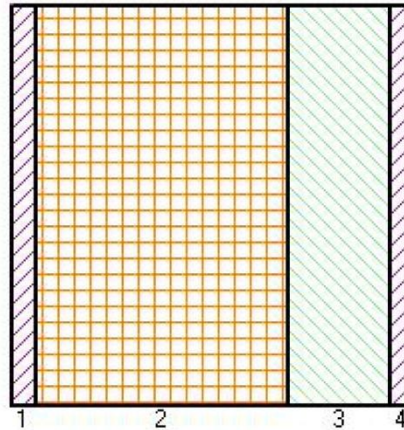
Dati generali	
Spessore:	0,251 m
Trasmittanza:	0,34 W/m ² K



	Tipo di materiale	Materiale	Spessore [m]
		Superficie esterna	
1	VAR	intonaco di calce e sabbia	0,018
2	VAR	biomattone 250*200*500	0,215
3	VAR	intonaco di calce e sabbia	0,018

2) **Struttura A2:** Muratura di tamponamento con isolamento artificiale con $U=0,34$ W/m^2K

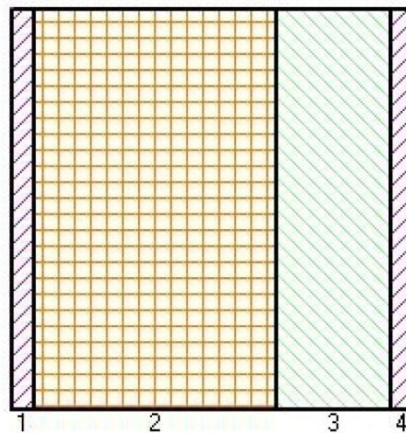
Dati generali	
Spessore:	0,316 m
Trasmittanza:	0,34 W/m^2K



	Tipo di materiale	Materiale	Spessore [m]
		Superficie esterna	
1	VAR	intonaco di calce e sabbia	0,018
2	MUR	Laterizi forati sp.20 cm.rif.1.1.15	0,200
3	ISO	Polistirene espanso in lastre stampate per termocompressione	0,080
4	VAR	intonaco di calce e sabbia	0,018

3) Struttura A3: Muratura di tamponamento con isolamento naturale con $U=0,34 \text{ W/m}^2\text{K}$

Dati generali	
Spessore:	0,330 m
Trasmittanza:	0,34 $\text{W/m}^2\text{K}$

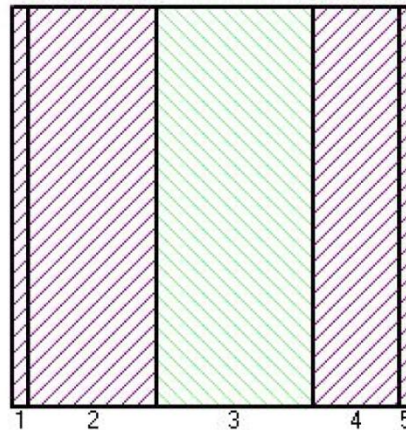


	Tipo di materiale	Materiale	Spessore [m]
		Superficie esterna	
1	VAR	intonaco di calce e sabbia	0,018
2	MUR	Laterizi forati sp.20 cm.rif.1.1.15	0,200
3	ISO	Sughero	0,094
4	VAR	intonaco di calce e sabbia	0,018

Bisogna evidenziare che tutte e tre le configurazioni precedenti impiegano lo stesso tipo di intonaco ovvero di calce idraulica e sabbia, e con lo stesso spessore in tutti i muri. Inoltre la tipologia di isolamento per i muri con isolante sintetico e naturale è a cappotto.

1) **Struttura B1**: Muratura di tamponamento isolata con biomattone da 25 cm con $U=0,13$ W/m^2K

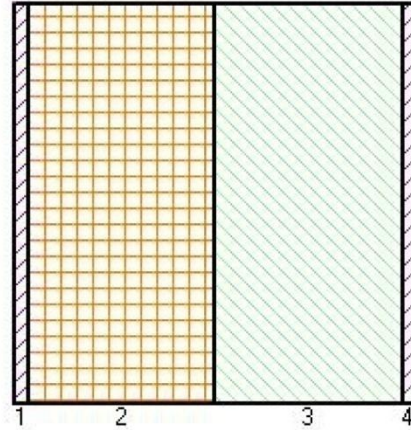
Dati generali	
Spessore:	0,466 m
Trasmittanza:	0,13 W/m^2K



	Tipo di materiale	Materiale	Spessore [m]
		Superficie esterna	
1	VAR	intonaco di calce e sabbia	0,018
2	VAR	biomattone 250*200*500	0,150
3	ISO	canapulo sfuso	0,180
4	VAR	biomattone 250*200*500	0,100
5	VAR	intonaco di calce e sabbia	0,018

2) **Struttura B2**: Muratura di tamponamento con isolamento artificiale con $U=0,13$ W/m^2K

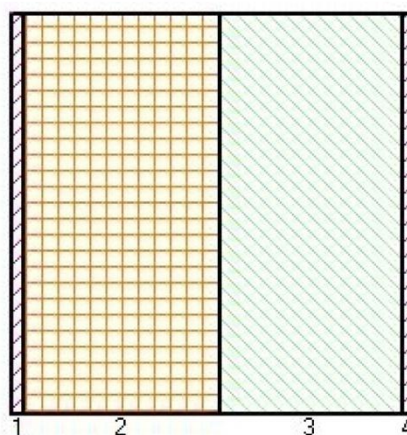
Dati generali	
Spessore:	0,536 m
Trasmittanza:	0,13 W/m^2K



	Tipo di materiale	Materiale	Spessore [m]
		Superficie esterna	
1	VAR	intonaco di calce e sabbia	0,018
2	MUR	Laterizi forati sp.25 cm.rif.1.1.16	0,250
3	ISO	PSE in lastre ricavate da blocchi conforme a UNI 7819	0,250
4	VAR	intonaco di calce e sabbia	0,018

3) **Struttura B3**: Muratura di tamponamento con isolamento naturale con $U=0,13 \text{ W/m}^2\text{K}$

Dati generali	
Spessore:	0,616 m
Trasmittanza:	0,13 $\text{W/m}^2\text{K}$



	Tipo di materiale	Materiale	Spessore [m]
		Superficie esterna	
1	VAR	intonaco di calce e sabbia	0,018
2	MUR	Laterizi forati sp.30 cm.rif.1.1.17	0,300
3	ISO	Sughero	0,280
4	VAR	intonaco di calce e sabbia	0,018

3.5.1.2 Valutazione degli impatti

Gli indicatori utilizzati per questo tipo di analisi sono: Greenhouse Gas Protocol e Cumulative Energy Demand.

3.5.1.2.1 Greenhouse Gas Protocol

Il Greenhouse Gas Protocol permette di quantificare, per l'effetto serra, gli impatti dovuti alla fase di costruzione di queste pareti e quindi all'impiego dei materiali utilizzati.

In questa prima analisi vengono valutati gli impatti associati alla fase di trasporto e alla fase di lavorazione degli ingredienti (calce e canapulo) della miscela, e ai consumi elettrici della fase di miscelazione. Inoltre viene valutato anche uno scenario alternativo per il trasporto della calce.

Di seguito è riportata la tabella 1 che indica i valori di $\text{kg di CO}_2\text{-eq}$ divisi per i quattro componenti di anidride carbonica:

- Carbonio proveniente da combustibili fossili (Fossil CO₂);
- Carbonio proveniente da fonti biogeniche come piante e alberi (Biogenic CO₂ eq);
- Carbonio proveniente da trasformazioni del territorio, ovvero gli impatti diretti (CO₂ eq from land transformation);
- Assorbimento di carbonio dalle piante ed dagli alberi in fase di crescita (CO₂ uptake).

Categoria d'impatto	Unità	N.B. 1:1	N.B. 1:1 alternativo	N.B. 2:1	N.B. 2:1 alternativo
Totale	kg	-0,30	-0,32	-0,04	-0,09
Fossil CO₂ eq	kg	0,25	0,23	0,34	0,28
Biogenic CO₂ eq	kg	0,01	0,01	0,01	0,01
CO₂ eq from land transformation	kg	0,00	0,00	0,00	0,00
CO₂ uptake	kg	-0,56	-0,56	-0,39	-0,39

TABELLA-1 KG DI CO₂-EQ DIVISI PER I QUATTRO COMPONENTI DI ANIDRIDE CARBONICA

Analizzando A1, A2, A3, quindi per trasmittanze $U = 0,34 \text{ W/m}^2\text{K}$:

Si nota che:

- I valori di CO₂-eq fossile (carbonio proveniente da combustibili fossili) maggiori appartengono ai muri con isolamento sintetico e naturale con una differenza davvero minima tra le due pareti. Questo è dovuto al ciclo di produzione dei mattoni e dei pannelli isolanti.
 - Il valore di CO₂-eq uptake (assorbimento del carbonio dalle piante e dagli alberi usati, in fase di crescita) assume notevoli differenze da muro a muro.
 - L'alta quantità di canapa contenuta nel Biomattone, che in fase di crescita assorbe CO₂ dall'atmosfera, produce un elevato valore di questo contributo di CO₂ che sommata agli altri kg di anidride carbonica fa sì che il valore d'impatto totale per questo gas serra, sia di molto inferiore alle alternative classiche proposte.

- Alla parete che utilizza il sughero, anch'esso un isolante naturale, la CO₂ uptake è notevolmente inferiore alle altre alternative proposte provocando perciò un abbassamento del livello di anidride carbonica totale e di conseguenza limitando i contributi della componente fossile e biogenica.
- Nella stratigrafia che utilizza un isolamento sintetico, invece, non avendo materiale naturale, la CO₂ uptake è molto vicino allo zero rendendo perciò l'impatto complessivo della parete il più alto, quasi 5 volte quello trovato con il Biomattone.

Da questa analisi si evince dunque che la stratigrafia che utilizza il Biomattone è quella con impatti minori e quindi la più ecocompatibile.

Analizzando B1, B2, B3, quindi per trasmittanze $U = 0,13 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$

Si nota che:

- La stratigrafia con l'isolante sintetico resta quella con un impatto sull'ambiente maggiore delle altre due: il suo aumento, rispetto al precedente, dipende dal fatto che viene inserita una quantità di isolante maggiore.
- Per le altre due pareti invece, B1 e B3, l'aumento quantitativo di materiale di origine naturale porta rispettivamente ad una diminuzione di anidride carbonica totale nel primo caso e ad un valore stazionario nel secondo caso. Questo è dovuto al fatto che, impiegando più materiale naturale, il valore di CO₂ uptake è sempre più negativo e nella somma con gli altri indicatori fa diminuire il valore d'impatto finale.
- Per la parete in sughero, che utilizza un elevato quantitativo di sughero e mattoni, sono associati un elevato valore di CO₂ fossile da una parte e di CO₂ biogenica (carbonio proveniente da fonti biogeniche come piante e alberi) dall'altra. Anche in questo caso il fattore altamente negativo della CO₂ uptake controbilancia il contributo fossile e biogenico rendendo quasi nulla la variazione dell'impatto totale rispetto al sistema A3

3.5.1.2.2 Cumulative Energy Demand

L'energia necessaria per la realizzazione delle pareti

Analizzando A1, A2, A3, quindi per trasmittanze $U = 0,34 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$:

Si nota che:

- L'energia di origine fossile è più alta nel muro con l'isolamento artificiale e sintetico rispetto al muro in biomattone.
- La presenza della canapa la parete in biomattone ha un elevato contributo di energia rinnovabile da biomassa piuttosto elevato rendendo questa parete ambientalmente meno impattante rispetto alle altre alternative proposte.
- Da notare che alla stratigrafia A3 è associato un valore di energia totale più alta perché integra ad un consumo di energia fossile elevato, un contributo di energia rinnovabile da biomassa anch'esso elevato. Questo è dipeso dal fatto che il sughero essendo un materiale di origine naturale, come la canapa, ha una elevata energia indiretta cioè la quota parte di energia stoccata nel prodotto e pronta per essere consumata.
- La parete isolata artificialmente nonostante abbia un consumo energetico totale inferiore della parete in sughero è quella ambientalmente più impattante poiché ha un contributo di energia da biomassa piuttosto piccolo.

Quindi la parete in Biomattone continua ad essere la meno impattante, seguita dalla stratigrafia isolata con il sughero.

Analizzando B1, B2, B3, quindi per trasmittanze $U=0,13 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ si conferma quello detto precedentemente.

3.5.2 Tesi – La Canapa nell'Edilizia – Matthieu Narducci

Il lavoro svolto ha portato alla comparazione due certificazioni energetiche: una con utilizzo di materiali "tradizionali", l'altra con la sostituzione di questi ultimi con il biocomposito in calce e canapa.

Il tamponamento esterno della soluzione originale prevedeva:

- 2 cm di intonaco;
- 25 cm di blocchi in calcestruzzo cellulare;
- 10 cm di isolante;
- 3 cm di intonaco.

Raggiungendo una trasmittanza termica pari a $0,272 \text{ W/m}^2\text{K}$.

La seconda soluzione è invece una parete monostrato composta da:

- 2 cm di intonaco;
- 36 cm di biocomposito di calce e canapa;
- 2 cm di intonaco.

Con questa stratigrafia la parete raggiunge una trasmittanza termica di 0,187 W/m²K.

Si può notare come l'introduzione del biocomposito di canapa e calce abbia portato ad un abbassamento di circa il 31% della trasmittanza termica originale.

Riguardo il Costo, sostituendo i blocchi in calcestruzzo cellulare utilizzati per le murature esterne e i mattoni forati per i tramezzi interni con i blocchi di calce-canapa il costo di costruzione aumenta di 3863 euro su un costo totale di circa 87000 euro, equivalente al 4.5 % del costo di costruzione.

I blocchi in cls cellulare costano approssimativamente la metà rispetto ai blocchi in calce-canapa.

Stando semplicemente a questi dati la differenza tra i due costi di costruzione dovrebbe essere maggiore, ma come visto nella parte fisica, i requisiti termo-acustici sono soddisfatti senza l'utilizzo dell'isolante, il quale comprende oltre ai costi del materiale anche un costo aggiuntivo per la posa, i quali non sussistono più nel calcolo, andando ad ammortizzare in parte il costo maggiore dei blocchi in calce-canapa.

Per i tramezzi interni erano stati utilizzati mattoni forati, i quali hanno un costo di circa 29,50 euro/mq, ora sono stati sostituiti da blocchi in canapa-calce con un costo leggermente inferiore pari a circa 26,00 euro/mq.

Dal punto di vista economico non ci sono differenze significative

3.5.3 Edificio sperimentale in canapa-calce (HemPod) dell'Università di Bath.

Riguardo l'edificio di sperimentazione HemPod, si è utilizzata la miscela composta con una proporzione 1:1,5 da nucleo di canapa Tradical® HF e da legante Tradical® HB, applicando una pressione minima per raggiungere la densità desiderata di 275 kg.m⁻³.



Figura 1: edificio sperimentale in canapa-calce (HemPod) dell'Università di Bath

A fini comparativi, vengono presentati anche dei dati riguardanti un ufficio non riscaldato a Liskeard, Cornovaglia. Questo edificio è composto da pannelli di legno e i muri sono ricoperti da uno strato di 150mm di isolante in lana minerale e da 12mm di *oriented strand board* (OSB), ovvero da un pannello in truciolato lavorato i cui strati sono compressi e orientati specificatamente, con uno schermo antipioggia esterno in legno.

I due siti si trovano a 200km di distanza l'uno dall'altro e sono quindi soggetti a diverse condizioni atmosferiche: l'ufficio si trova in un luogo la cui temperatura è variabile, mentre l'HemPod deve sopportare mutevoli condizioni di umidità.

3.5.3.1 Temperatura

La variazione media giornaliera della temperatura interna dell'HemPod era di 2,3° C, contro una esterna di 11,6° C (equivalente ad un effetto di smorzamento della temperatura dell'80%); nell'ufficio invece c'era una variazione media giornaliera interna di 6,8° C ed esterna di 13,5° C (effetto smorzamento al 49%).

La temperatura superficiale è generalmente di poco superiore alle condizioni interne e, in media, la temperatura superficiale è di $0,09^{\circ}\text{C}$ superiore alla temperatura dell'aria interna, anche se va osservato che differenze così minime vadano oltre la risoluzione delle termoresistenze.

3.5.3.2 Umidità

L'umidità all'interno dell'HemPod è molto più moderata che nell'ufficio, infatti la variazione periodica è di $\pm 2\%$ paragonata al $\pm 25\%$ di quella esterna; il risultato è un'umidità relativa interna incredibilmente stabile.

Nell'ufficio l'umidità varia di $\pm 7\%$, mentre esternamente di $\pm 20\%$ (notevolmente maggiore di quella osservata nell'HemPod). Inoltre, va tenuto presente che il volume d'aria è doppio rispetto all'HemPod e che la stanza contiene una quantità considerevole di materiali assorbenti (es. Carta, legno, moquette), quindi entrambi questi fattori potrebbero conferire agli interni un'inerzia di umidità superiore, paragonandola all'HemPod vuoto.

In conclusione, si nota la notevole stabilità delle condizioni mantenute all'interno dell'HemPod, avvalendosi delle caratteristiche di assorbimento/dissorbimento termoigrometrico del composto canapa-calce, a fronte dell'edificio costituito con pannelli di legno e isolato con lana minerale.

3.5.3.3 Smorzamento termico

Per la parete dell'HemPos spessa 200mm, lo sfasamento termico è ~ 5 ore e lo smorzamento termico è $\sim 80\%$. Evrard e De Herde, utilizzando un software WUFI®, riportano uno sfasamento simulato di 15 ore ed uno smorzamento termico del 92% per un muro in canapa-calce spesso 300mm, basato su una conducibilità termica λ di $0,115\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$, una densità ρ di $440\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$, una capacità termica a secco c_0 di $1560\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ e un valore di trasmittanza di $0,44\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$.

Il composto canapa-calce è in grado di trasferire rapidamente i liquidi, trattenere umidità e permeare vapore acqueo, permettendo così di evitare condensazione e di mantenere delle condizioni ambientali interne confortevoli.

Il movimento di aria umida attraverso al parete può provocare effetti sulla temperatura, che a loro volta ricadono sul modello di trasferimento termico.

Gli effetti possono essere significativi, producendo variazioni di temperatura all'interno della canapa-calce fino a 8° C.

Coclusione

- L'umidità relativa interna viene mantenuta stabile.
- La temperatura rimane stabile (circa 4° C superiore rispetto alle condizioni esterne).

3.5.4 Tesi – “Valutazione energetica su edifici costruiti con materiali non convenzionali: la canapa” di Carmine Dedda

È un caso di studio teorico sulla valutazione energetica effettuata su un edificio con struttura portante in cemento armato, già esistente e situato in Puglia, nel comune di Bovino (FG).

I calcoli per la certificazione energetica sono stati eseguiti mediante l'utilizzo di un software “Namirial Termo” simulando 4 tipologie di costruzione differenti: 2 con muratura di tamponamento e solaio con materiali convenzionali e 2 con il biocomposito calce-canapa con rapporto 1:1 (Natural Beton 200)

Per i diversi scenari (con spessore del muro di tamponamento costante a 41cm, e, per il solaio, 45cm nel caso di materiali convenzionali e 47cm per calce-canapa), calcolo la trasmittanza U al fine di raggiungere il valore minimo da normativa: 0,28 W/m²K per i muri di tamponamento, e 0,27 W/m²K per i solai.

Materiali Tradizionali:

1) Tamponatura con muratura poroton multistrato con rifodera esterna:

Trasmittanza: 0,214 W/m²K

Sfasamento: 13,82 h

Smorzamento: 0,181

Capacità termica interna: 54,408 kJ/ m²K

La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa superficiale.

2) Tamponatura con muratura con cappotto esterno di calce:

Trasmittanza: 0,242 W/m²K

Sfasamento: 12,92 h

Smorzamento: 0,101

Capacità termica interna: 57,521 kJ/ m²K

La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa superficiale.

Con Calce–canapa:

3) Tamponatura con muratura con un getto in opera in calce–canapa nell’intercapedine tra i due blocchi di laterizio:

Trasmittanza: 0,26 W/m²K

Sfasamento: 15,51 h

Smorzamento: 0,138

Capacità termica interna: 33,702 kJ/ m²K

La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa superficiale.

La quantità di condensa massima (a febbraio) è di 0,33504 kg/m², che evapora completamente nei mesi successivi.

4) Tamponatura con muratura con un getto in opera in calce–canapa nell’intercapedine tra il blocco in laterizio e quello in Biomattone, anch’esso di calce–canapa:

Trasmittanza: 0,199 W/m²K

Sfasamento: 13,54 h

Smorzamento: 0,133

Capacità termica interna: 33,826 kJ/ m²K

La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa superficiale.

Solai:

1) Tradizionale (45cm):

Trasmittanza: 0,25 W/m²K

Sfasamento: 13,65 h

Smorzamento: 0,088

Capacità termica interna: 57,053 kJ/ m²K

La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa superficiale.

2) In Calce–canapa (47cm):

Trasmittanza: 0,255 W/m²K

Sfasamento: 18,28 h

Smorzamento: 0,04

Capacità termica interna: 30,675 kJ/ m²K

La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa superficiale.

Conclusione:

Con l'uso di materiali in calce–canapa, le caratteristiche termiche e igrometriche migliorano, andando di conseguenza ad aumentare il risparmio energetico dell'abitazione, abbattendo quindi anche i costi.

3.5.5 Il rapporto finale della costruzione in calce–canapa nell' Haverhill (BRE 2002 e 2003)

Lo sviluppo di Haverhill è stato un progetto sperimentale che, fin dal principio, ha permesso il confronto tra costruzioni in calce–canapa e quelle con materiali tradizionali.

L'abitazione è all'interno del Comune di St Edmundsbury.

Il progetto prevedeva la costruzione di 18 alloggi di cui 16 sono stati costruiti utilizzando metodi di costruzione e materiali convenzionali, mentre due con calce–canapa.

Nel corso del progetto BRE ha studiato i due sistemi per :

- Caratteristiche strutturali, termiche, acustiche, di permeabilità e durabilità;
- Riduzione dei rifiuti prodotti in loco ;
- Impatto ambientale ;
- I costi di costruzione .

I risultati principali sono stati :

- **Struttura e durata :** Le qualità di case in canapa sono risultati essere almeno pari a quelli di tipo tradizionale.
- **Confronti termici:** il consumo del riscaldamento nelle case in canapa non è superiore a quello utilizzato nelle case tradizionali.

- La prova acustica: i risultati delle case in calce–canapa non sono state altrettanto buone come quelle in materiali tradizionali, ma, in ogni caso, hanno soddisfatto i requisiti di norma.
- Permeabilità : entrambe le forme di costruzione sembrano dare una protezione completa contro la penetrazione dell’acqua . Tuttavia , le case in canapa generano meno condensa.
- Minimizzazione dei rifiuti : c’è poca differenza nella quantità di rifiuti prodotto da ciascun metodo. Sebbene i rifiuti sono di natura diversa, in ciascun caso c’è un impatto ambientale
- I costi di costruzione : si stima che il vero costo di costruzione di canapa era £526 per metro quadrato rispetto a £478 per la costruzione tradizionale. In particolare si è notato una diminuzione del costo della manodopera tra la prima abitazione in canapa e la seconda. Probabilmente a causa del miglioramento di efficienza nel mixaggio e nella posa del composto.

Il nome commerciale del prodotto canapa è Isochanvre .

Le due case di canapa hanno una fondazione in “limecrete” (un calcestruzzo dove il cemento è sostituito dalla calce) e plinti in mattoni. L’abitazione ha una struttura in legno “balloon frame” e le pareti opache sono in un mix di calce–canapa–sabbia .

Il piano terra è costituito da una lastra in calce–canapa–sabbia, sormontato da un massetto di sabbia–calce .

Il tetto ha una struttura in legno ed è coperto con tegole di cemento .

Le due case tradizionali, immediatamente adiacenti a quelle in canapa, sono per molti aspetti (ad esempio grandezza, layout) quasi identici e sono stati quindi utilizzati come “parametri di riferimento”. Sono costruiti da 2 strati di muratura separati da un isolante in lana di roccia di 100mm di spessore nel muro di riempimento , con 50mm di isolamento Styrofoam al piano terra e con 200mm di isolamento in lana di roccia per i tetti .

3.5.5.1 Rifiuti

BRE ha controllato la quantità e le cause dei rifiuti durante la costruzione sia delle due case in canapa, sia delle due in materiale tradizionale di controllo.

Purtroppo, le risorse finanziarie disponibili per questo studio sono bastate solo per 20 settimane di costruzione, invece delle 40 settimane circa di durata totale di realizzazione. I tempi stimati da progetta erano di 14 settimane, questo a causa di maltempo, problemi e ritardi vari.

Il monitoraggio è terminato fino al riempimento delle pareti dell'abitazione in canapa. Per le abitazioni di controllo, il monitoraggio si è interrotto all'inizio della posa in opere delle tegole del tetto.

All'interruzione, i rifiuti erano: 22.1 m³ per le case in canapa e 31.8 m³ per quelle di controllo. Ma, dato che le costruzioni non erano alla stessa fase, i risultati sono inconcludenti.

3.5.5.2 Test per l'impermeabilità

Al termine della prova, durata 96 ore, non c'è stata penetrazione di acqua attraverso le quattro pareti di prova.

3.5.5.3 Test di Isolamento Acustico

Il test è stato fatto il 29 Novembre 2001, dopo il completamento delle abitazioni e prima dell'occupazione di esse.

I risultati delle prove indicano:

- Un buon isolamento acustico per le pareti di separazione tra le case costruite in stile tradizionale;
- Per quelle in calce-canapa, i valori sono un po' meno 6 dB, ma comunque ben superiore ai limiti di legge, che non deve essere inferiore a 53 dB.

I valori infatti sono in media:

- Costruzione tradizionale 63,5 dB [63 (-1;-5) dB e 64 (-1;-5) dB];
- Costruzione in Canapa 57,5 [58 (-1;-5) dB e 57 (-2;-6) dB].

3.5.5.4 Isolamento termico e igrometrico

La temperatura e l'umidità sono stati monitorati in tutte le quattro case – due tradizionali e due case di canapa – per quattro mesi (da dicembre 2001 ad aprile 2002, che comprendeva tre mesi durante i quali una casa di canapa e una casa di mattoni non sono stati occupati).

Guardando i dati raccolti, notiamo che nelle case in canapa, la temperature si mantiene costantemente di uno o due gradi superiore rispetto a quelle in materiali tradizionali, per la

stessa quantità di calore immesso. Stessa cosa per l'umidità, al di sotto, nella casa in canapa di 3–5%.

Nel 2003, lo stesso gruppo BRE ha condotto uno studio con l'obiettivo principale di rilevare la posizione di qualsiasi perdita di calore significativo attraverso le pareti perimetrali e le finestre di ogni proprietà.

Si è scoperto che vi è una significativa perdita di calore, attraverso le pareti e le finestre, nella casa in muratura, rispetto a quella in canapa.

Inoltre, la temperatura interna delle abitazioni era di 14 °C superiore all'esterno, come richiesto e il riscaldamento riesce a mantenere la temperatura interna al livello richiesto;

3.5.5.5 Ore-uomo

Tramite questo studio si evidenziano i tempi di costruzione che sono:

- Quasi 1200 ore-uomo per la prima casa in canapa (identificata con il numero 8);
- Intorno ai 450 ore-uomo per la seconda abitazione in canapa (identificata con il 9);
- Intorno ai 550 ore-uomo nel caso di delle costruzioni di controllo (identificati con 10 e 11).

È importante notare la differenza tra 8 e 9. Tale riduzione è dovuta a due fattori:

- Il primo, ma meno rilevante, è che 8 ha un fastidio che aumenta i lavori di costruzione;
- Il secondo, più rilevante, è dovuto al fatto che, gli operai, hanno “imparato” come costruire con la canapa grazie alla prima abitazione (8), e sono stati molto più veloce con la seconda (9). Riuscendo anche ad avere valori di ore-uomo inferiori alle abitazioni di controllo.

3.5.5.6 Resistenza al Fuoco

Data la prova, si è visto come non vi era alcun impatto sul materiale a temperature fino a 1800 °C dopo 4 ore.

Tramite la classificazione Francese, Isochanvre è stato classificato come M2 (poco infiammabile).

4. Protocollo ITACA Puglia

La progettazione, la realizzazione e la valutazione in termini prestazionali degli edifici trova una sua interessante applicazione nei protocolli di valutazione di sostenibilità ambientale.

La valutazione di sostenibilità ambientale si basa su sistemi a punteggio (*rating systems*) organizzati secondo schede (*check lists*). Ad ogni scheda è associato un indicatore, a cui deve essere attribuito un punteggio (*score*) in relazione al rispetto di criteri prestabiliti.

La somma pesata dei punteggi associati a ciascun indicatore consente all'edificio di ottenere un valore, che ne esprime il grado di sostenibilità:

- Confrontabilità di soluzioni diverse sulla base di parametri numerici, sia a livello di singoli indicatori che di intervento complessivo;
- Semplificazione del comportamento reale dell'edificio, secondo la necessità di considerare degli indicatori omogenei.

In questo capitolo andrò ad analizzare nello specifico il Protocollo ITACA applicandolo ad un edificio prefabbricato in canapa. Prima, però, fornirò una panoramica generale su altri tipi di protocolli di valutazione di sostenibilità ambientale.

4.1. BREEAM

Il BREEAM (*Building Research Establishment Environmental Assessment Method*) è il primo ed il più diffuso protocollo di valutazione ambientale al mondo.

È un protocollo di valutazione degli edifici su base volontaria istituito nel Regno Unito (nello specifico da un ente di ricerca inglese, il "*Building Research Establishment*" o BRE, a partire dal 1998.) con lo scopo di valutare la performance ambientale degli immobili. Il

giudizio viene assegnato prendendo in considerazione svariati fattori ambientali ed ottenendo un punteggio in percentuale:

- Outstanding $\geq 85\%$;
- Excellent $\geq 70\%$;
- Very Good $\geq 55\%$;
- Good $\geq 45\%$;
- Pass $\geq 30\%$;
- Unclassified $< 30\%$.

Il BREEAM offre a clienti, investitori, progettisti ed a tutti coloro che sono coinvolti nell'iter progettuale:

- Riconoscibilità nel mercato edilizio garantita da edifici che abbiano un basso impatto ambientale;
- Garanzia che i migliori principi di bioedilizia siano incorporati nell'edificio;
- Ispirazione nel trovare soluzioni innovative che minimizzino l'impatto ambientale;
- Una misura di qualità edilizia superiore a quella delle normative vigenti;
- Uno strumento che aiuti ad abbassare i costi di manutenzione e gestione degli edifici ed a migliorare le condizioni ambientali *indoor*;
- Uno standard che provi i progressi fatti da una società o compagnia nei confronti degli obiettivi di sostenibilità.

Il protocollo ambientale BREEAM indirizza un'ampia serie di problematiche ambientali e di sostenibilità e consente ad investitori e progettisti di provare a clienti ed amministrazioni locali le credenziali ambientali degli edifici da loro realizzati:

- Utilizza un sistema di punteggio semplice e chiaro, supportato da una ricerca basata su esperienza e dati concreti;
- Ha un'influenza positiva sul progetto, la realizzazione e gestione dell'edificio, una volta costruito;
- Stabilisce e mantiene uno standard tecnico robusto tramite un sistema rigoroso di controlli di qualità e certificazione.

In base alla sua destinazione d'uso e alla tipologia, gli schemi con cui una struttura può essere certificata BREEAM variano secondo la localizzazione dell'edificio.

In Inghilterra, per esempio, troviamo lo schema *New Construction*, quello *Refurbishment*, dedicato alle ristrutturazioni importanti; ed il *Communities* e l'*In-use* per la certificazione della gestione in opera degli edifici.

La valutazione si basa su dieci categorie di indicatori (Gestione, Salute e benessere, Energia, Trasporti, Sistemi idrici, Materiali, Rifiuti, Utilizzo del suolo ed ecologia, Inquinamento, Innovazione).

Per ogni indicatore, il protocollo stabilisce un numero massimo di crediti raggiungibili, e specifica in base a quali criteri è possibile attribuire alcuni o tutti i crediti disponibili. Per ogni categoria, la somma dei crediti raggiunti viene espressa come percentuale dei crediti raggiungibili, e poi pesata rispetto al peso attribuito alla categoria.

In ogni caso, per confermare il giudizio finale, il protocollo richiede che siano garantiti dei requisiti minimi. Qualora non siano presenti, l'edificio viene declassato al giudizio del quale soddisfa i requisiti minimi.

4.2 LEED

Il LEED (*Leadership in Energy & Environmental Design*) è un metodo elaborato dall'U.S. Green Building Council, a partire dal 1998.

È uno strumento di valutazione volontaria, principalmente utilizzato negli Stati Uniti, e consente la redazione di un certificato a cura dei progettisti sotto la supervisione e approvazione del GBC.

Dal 2009, è stato recepito in Italia con il protocollo LEED Italia Nuove Costruzioni e Ristrutturazioni, per la valutazione degli edifici commerciali, istituzionali e residenziali sia nuovi che esistenti.

Il certificato LEED Italia viene rilasciato da GBC Italia previa verifica della documentazione presentata dai progettisti alla fine della costruzione. I progettisti possono avvalersi di una verifica intermedia alla fine della progettazione con il solo scopo di orientare le scelte operative.

Poiché abbraccia l'intero processo (dalla progettazione, alla fase di costruzione e di occupazione) ed ogni parte dell'edificio, il protocollo LEED si caratterizza per una

visione *olistica* (ossia completa, totale) della sostenibilità edilizia, sfruttando ogni possibilità di ridurre impatti ambientali di vario genere ed emissioni nocive degli edifici in costruzione.

Ecco perché, ad esempio, chi desidera applicare il LEED deve tenere presente caratteristiche che non sono tutte strettamente legate alle caratteristiche intrinseche della struttura. Per esempio, vengono considerati gli aspetti ambientali legati al sito entro il quale verrà costruito l'edificio ed il rapporto di quest'ultimo con l'intorno. E ancora, tra le sezioni che costituiscono il LEED, vi è anche quella della *Priorità regionale* che prende in considerazione le caratteristiche ambientali del tutto uniche e peculiari della località in cui è situato il progetto.

Il punteggio finale determina il giudizio:

- Platino, se maggiore di 80 punti;
- Oro, se compreso tra 60 e 79 punti;
- Argento, se compreso tra 50 e 59 punti;
- Base, se compreso tra 40 e 49 punti.

La valutazione si basa su otto categorie di indicatori (Sostenibilità del sito, Gestione delle acque, Energia e atmosfera, Materiali e risorse, Qualità ambientale interna, Innovazione nella progettazione, Priorità regionale, Innovazione)

Per ogni categoria, il protocollo stabilisce i prerequisiti che devono essere soddisfatti in modo obbligatorio per accedere alla valutazione dei relativi indicatori.

Per ogni indicatore, il protocollo stabilisce gli scenari rispetto ai quali è possibile attribuire dei crediti.

4.3 Protocollo ITACA

Il Protocollo Itaca è un sistema di valutazione della sostenibilità energetica e ambientale degli edifici in materia di Bioedilizia con lo scopo di formulare una serie di regole condivise a livello nazionale per la definizione di progetti con caratteristiche di bioedilizia.

Nel 2001 ITACA, Istituto per l'Innovazione e Trasparenza degli Appalti e la Compatibilità Ambientale, ha attivato un gruppo di lavoro interregionale in materia di edilizia sostenibile con lo scopo di sviluppare strumenti a supporto delle politiche regionali a favore delle

costruzioni ad elevata qualità energetico–ambientale. Uno dei primi obiettivi del gruppo di lavoro è stato lo sviluppo di un sistema di valutazione a punteggio per gli edifici, fondamentale per consentire di stabilire obiettivi oggettivi e misurabili nelle iniziative pubbliche di incentivazione della sostenibilità delle costruzioni.

Nel 2002 il gruppo di lavoro ha adottato, quale base per lo studio del sistema di valutazione, lo strumento internazionale SBTool1, sviluppato nell'ambito del processo di ricerca Green Building Challenge, coordinato dall'organizzazione no profit iiSBE (*international initiative for a Sustainable Built Environment*), cui nel tempo hanno contribuito 25 nazioni. Tale scelta è stata dettata dal fatto che lo strumento è fondato sul principio della condivisione di criteri e metriche tra nazioni e regioni, e contemporaneamente pienamente contestualizzabile all'ambito geografico di applicazione in modo da rifletterne priorità e caratteristiche.

La contestualizzazione del SBTool da parte del gruppo di lavoro ITACA ha prodotto la prima versione del Protocollo ITACA, approvato il 15 gennaio del 2004 dalla Conferenza delle Regioni e delle Province autonome. In seguito, il Protocollo è stato adottato dalle Regioni e da numerose amministrazioni comunali in diverse iniziative volte a promuovere e ad incentivare l'edilizia sostenibile attraverso: regolamenti edilizi, gare d'appalto, piani urbanistici, ecc. Versioni aggiornate e più evolute del Protocollo ITACA sono state successivamente realizzate dal gruppo di lavoro interregionale, con il supporto tecnico–scientifico di iiSBE Italia e ITC–CNR.

Con la diffusione del Protocollo ITACA a livello nazionale e l'interessamento a riguardo dell'intero comparto delle costruzioni, l'Istituto ha promosso, anche su indicazione della Conferenza delle Regioni e delle Province autonome, l'attivazione di un processo di certificazione di parte terza sotto l'accreditamento di ACCREDIA (RT–33) e lo sviluppo di una specifica prassi di riferimento UNI dedicata al Protocollo ITACA.

A livello internazionale, il Protocollo ITACA ha fin dall'inizio rappresentato il metodo italiano nell'ambito di numerose iniziative quali: CESBA (*Common European Sustainable Building Assessment*), SBA (*Sustainable Building Alliance*) e SBCI–UNEP (*United Nations Environment Programme*).

La maggior parte delle Regioni e delle Province autonome italiane ha aderito al Protocollo ITACA, ed ancora varie regioni lo hanno scelto come strumento di riferimento per promuovere la sostenibilità ed erogare incentivi economici a chi costruisce in bioedilizia.

Il sistema è finalizzato alla valutazione di sostenibilità a cura di esperti abilitati. La Puglia ha elaborato il proprio protocollo per edifici a destinazione residenziale con la deliberazione G.R. n. 2272 del 24.11.2009, ai sensi degli articoli 9 e 10 della legge regionale n. 13/2008 “Norme per l’abitare sostenibile”.

L’attività ispettiva del Protocollo ITACA si articola secondo fasi che, a partire dal solo progetto, sono consecutive ed integrate: Progetto, Realizzazione e Condizioni di esercizio. La fase di progetto prevede l’applicazione preventiva del “Protocollo ITACA” da parte di un professionista incaricato dal Committente al progetto esecutivo dell’edificio, con la conseguente stesura della Relazione di valutazione e la successiva verifica di quest’ultima da parte dell’Organismo di Ispezione. Il Protocollo ITACA può essere applicato esclusivamente ad un progetto di livello esecutivo. Livelli di progettazioni inferiori non consentono la verifica degli indicatori dei criteri di valutazione.

La fase di realizzazione prevede la verifica di corrispondenza della costruzione al progetto esecutivo da parte dell’Organismo di Ispezione. La fase di esercizio dell’edificio, infine, prevede la misura e l’analisi delle prestazioni dell’edificio in fase di esercizio da parte dell’Organismo di Ispezione.

4.3.1 Protocollo ITACA Puglia

Il Protocollo Itaca Regione Puglia assegna un punteggio da -1 a +5, ripartito in cinque categorie di indicatori, diciotto sottocategorie di indicatori e quaranta indicatori.

- -1: rappresenta una prestazione inferiore allo standard ed alla pratica corrente;
- 0: rappresenta la prestazione minima accettabile definita dalle leggi o dai regolamenti vigenti o, nel caso non vi siano regolamenti di riferimento, rappresenta la pratica corrente;
- +1: rappresenta un moderato miglioramento della prestazione rispetto ai regolamenti vigenti e alla pratica corrente;
- +2: rappresenta un miglioramento della prestazione rispetto ai regolamenti vigenti ed alla pratica corrente;
- +3: rappresenta un significativo miglioramento della prestazione rispetto ai regolamenti vigenti ed alla pratica comune. È da considerarsi come la migliore pratica corrente;

- +4: rappresenta un moderato incremento della migliore pratica corrente;
- +5: rappresenta una prestazione considerevolmente avanzata rispetto alla migliore pratica corrente, di carattere sperimentale.

Ogni indicatore segue la scala da -1 a 5 e contribuirà con il proprio peso al giudizio complessivo.

La scheda che consente di attribuire il valore è articolata in tre sezioni:

- Esigenza: obiettivo di qualità ambientale che si intende perseguire;
- Indicatore di prestazione: parametro utilizzato per valutare il livello di prestazione rispetto al criterio di valutazione. Può essere di tipo quantitativo o qualitativo. Nel primo caso, viene espresso secondo una data unità di misura, nel secondo caso sotto forma di possibili scenari;
- Scala di prestazione: definisce la corrispondenza fra indicatori di prestazione e punteggio (da -1 a +5).

La regione Puglia ha pubblicato delle linee guida all'implementazione del protocollo. Esse contengono indicazioni sulla compilazione delle schede, con alcune esemplificazioni, nonché una serie di strategie di riferimento, con soluzioni e metodi per il miglioramento del comportamento del sistema tecnologico ed ambientale rispetto ai diversi indicatori.

4.3.1.1 Legge Regionale 13/2008

La legge principale per l'abitare sostenibile è la Legge Regionale del 10 Giugno 2008 n.13 "Norme per l'abitare sostenibile".

Gli obiettivi principali sono:

- **Ridurre l'impatto ambientale** causato dal settore edilizio, in particolare riguardo ai consumi energetici, di acqua potabile, produzione di rifiuti ed anche in riferimento al ciclo di vita dei materiali e degli edifici;
- **Migliorare il benessere degli abitanti;**
- **Fornire una certificazione ambientale** che renda visibile la prestazione ambientale e quindi la qualità dell'edificio differenziandolo dal resto del patrimonio immobiliare;
- **Stimolare la domanda di edifici sostenibili;**

- **Accrescere la consapevolezza** di proprietari, affittuari, progettisti ed operatori immobiliari dei benefici di un edificio con elevate prestazioni ambientali.

La legge regionale “Norme per l’abitare sostenibile” (n. 13 del 2008), ormai completa dei sistemi di valutazione, di certificazione e di accreditamento, rappresenta il principale punto di riferimento per promuovere ed incentivare la sostenibilità ambientale sia nelle trasformazioni territoriali ed urbane, sia nella realizzazione delle opere edilizie.

Gli obiettivi sottesi consistono non solo nel risparmio delle risorse naturali e nella riduzione delle varie forme di inquinamento, prima fra tutte quella legata alla produzione di gas serra, e quindi nell’innalzamento della qualità della vita degli abitanti, ma anche nella promozione dell’innovazione di un importante segmento del sistema produttivo regionale.

La legge prevede che piani e programmi contengano norme, parametri, indicazioni progettuali e tipologiche che garantiscano il migliore utilizzo delle risorse naturali e dei fattori climatici, nonché la prevenzione dei rischi ambientali, in particolare attraverso le modalità di sistemazione degli spazi esterni, la previsione di idonei indici di permeabilità dei suoli, l’indicazione di tipologie edilizie che migliorino l’efficienza energetica e utilizzino come parametri progettuali la riflessione della radiazione solare verso l’edificio e la geometria degli ostacoli fisici che influiscono sui guadagni solari.

La certificazione ha carattere volontario, eccetto nel caso di interventi che prevedono un finanziamento pubblico superiore al 50% che la rende obbligatoria.

Il certificato di sostenibilità viene rilasciato da un professionista accreditato o da una organizzazione accreditata, estranei alla progettazione ed alla direzione dei lavori, su richiesta del soggetto attuatore dell’intervento. Il risultato della certificazione, sotto forma di apposita targa, viene affisso nell’edificio in un luogo facilmente visibile.

La procedura per la certificazione di sostenibilità ambientale prevede una doppia valutazione:

1. **Valutazione del progetto**, il cui esito positivo è il rilascio dell’attestato di conformità del progetto ITACA–PUGLIA e quindi la conferma ad usufruire degli incentivi richiesti;

2. **Valutazione dell'edificio**, che riguarda le fasi di costruzione o recupero dell'edificio e il cui esito positivo consiste nel rilascio del certificato di sostenibilità ambientale.

La procedura per il rilascio del Certificato di Sostenibilità Ambientale, a norma dell'art. 9, comma 2, della Legge Regionale n. 13/2008, ricomprende la procedura per il rilascio dell'Attestato di Certificazione Energetica.

Coerentemente con tale previsione, la procedura si conclude con il rilascio di due certificati:

- il Certificato di Sostenibilità Ambientale;
- l'Attestato di Certificazione Energetica.

Incentivi

Per gli interventi di edilizia sostenibile che rispondono ai requisiti fissati dal Protocollo "ITACA PUGLIA 2011 Residenziale" e raggiungono almeno il livello di prestazione 2 sia in fase di progetto che di realizzazione, i Comuni, dopo aver provveduto con apposita deliberazione a graduare gli incentivi, possono prevedere:

- Riduzioni dell'ICI e di altre imposte comunali, degli oneri di urbanizzazione secondaria o del costo di costruzione in misura crescente in base al livello di sostenibilità ottenuto;
- Incrementi fino al 10% del massimo volume consentito dagli strumenti urbanistica vigenti al netto delle murature, per interventi di nuova costruzione, ampliamento, sostituzione e ristrutturazione degli edifici esistenti.

In assenza della graduazione degli incentivi da parte dei comuni, è possibile usufruire del 10% di incremento della volumetria realizzabile (massimo incentivo previsto) se si raggiunge almeno il livello 3 di sostenibilità, corrispondente ad un notevole miglioramento della prestazione rispetto ai regolamenti.

Sanzioni

Nel caso in cui vengano meno i requisiti per l'accreditamento o nel caso di rilascio di certificazioni illegittime, il soggetto certificatore decade dall'accreditamento.

Gli edifici certificati sono soggetti a controlli comunali e regionali, operabili nel termine di cinque anni dalla fine dei lavori.

Le opere realizzate che presentino irregolarità documentali o la non conformità rispetto al progetto, possono essere sanabili o non sanabili:

- Nel caso di opere SANABILI, il Comune ingiunge al committente di effettuare i lavori necessari per rendere conforme l'edificio a quanto dichiarato ed assentito;
- Nel caso di opere NON SANABILI, la Regione provvede alla revoca della certificazione di sostenibilità rilasciata, ed il Comune provvede alla revoca di eventuali altri incentivi diversi dalle volumetrie aggiuntive. Se si è beneficiato di incrementi volumetrici, il Comune, previa diffida, revoca il titolo abilitativo rilasciato.

4.4 Esempi di tecnologie innovative

Con la maggiore autoconsapevolezza della società sui problemi ambientali, le aziende si sono attivate per la progettazione di nuovi sistemi innovativi ed ecosostenibili in modo da ottenere anche un alto punteggio nei protocolli di valutazione di sostenibilità ambientale elencati dei paragrafi precedenti. Di seguito alcuni esempi.

Pannelli esterni della BioBuild

Il pannello, studiato prevalentemente per un utilizzo in edifici direzionali, è alto 4 metri ed è largo 2.3, con un modulo vetrato nel mezzo. È composto da uno strato esterno ed uno interno di laminati in biocomposito di lino e resine naturali, ed uno centrale di materiale isolante. Lungo il perimetro del pannello è presente un telaio in legno per garantire una adeguata interfaccia fra i diversi moduli di facciata. Le piastre di fissaggio al solaio sono l'unico elemento in metallo del pannello e rappresentano prodotti commercialmente disponibili per sistemi autoportanti di facciata.

Aspetto fondamentale della ricerca è stata l'attenzione all'intero ciclo di vita dei materiali costituenti il pannello. Tutte le componenti del sistema sono facilmente smontabili le une dalle altre, e possono essere riciclate o riutilizzate alla fine del loro ciclo di vita. Infatti, riduce del 50% l'*embodied energy* (energia grigia) senza un aumento di costo, e ha vinto il *JEC Innovation Award 2015* nella categoria "Costruzione". L'energia grigia è definita come l'energia necessaria al prodotto (o all'intero edificio) durante tutto il suo ciclo di vita, ovvero quella impiegata per la sua realizzazione (estrazione delle materie prime, trattamento delle stesse per dare vita al prodotto finale), utilizzo (trasporto sul luogo

dove il prodotto verrà trattato o installato, installazione, manutenzione) e smaltimento (demolizione, dismissione, riciclo).



Il consorzio BioBuild è formato da tredici partner provenienti da sette Paesi europei ed è stato costituito nell'ambito del Settimo Programma Quadro della Comunità Europea. Oltre al sistema di facciata, ha progettato kit per sistemi di rivestimento per esterni, pareti divisorie interne e controsoffitti.

Rilevanti e chiarificatori sulla *mission* dell'azienda e sulla situazione di mercato dell'edilizia sostenibile, sono le parole dell'ingegnere Guglielmo Carra, Project Manager per Arup (azienda con novanta uffici in trentanove Paesi al mondo, che investe ogni anno cinque milioni di sterline in ricerche per migliorare gli aspetti tecnici, social, economici, sostenibili dei propri progetti) e Design Manager per il progetto BioBuild, il quale commenta: *“Questo prodotto innovativo spinge i confini dell'ingegneria delle facciate e dei materiali verso nuovi obiettivi, utilizzando i materiali biocompositi in un campo particolarmente difficile come quello delle costruzioni in cui le performance energetiche e meccaniche sono sempre più rilevanti. La libertà di progettazione garantita dai biocompositi può avere un forte impatto sull'estetica degli edifici”*.

Le tecniche Earthbags e Superadobe: costruire in terra cruda

Le tecniche Earthbags e Superadobe consistono nel creare strutture con sacchi di polipropilene o Juta, riempiti di terra ed impilati gli uni sugli altri.

La differenza tra le due è:

- **Earthbags**, cioè la tecnica di riempire i sacchi con la terra (o altri materiali, quali la sabbia) avveniva già pre-Khalili: era infatti utilizzata dagli eserciti per erigere costruzioni temporanee e barricate che resistessero anche a proiettili e bombe, oppure veniva utilizzata anche per contenere gli argini di fiumi in caso di alluvioni.

- **Superadobe** è stata brevettata dall'architetto Nader Khalili. Lui ha aggiunto al metodo costruttivo Earthbags due fattori principali:
 - L'uso del filo spinato che crea frizione tra i sacchi impedendogli di scivolare e che funge da elemento tensile incrementando notevolmente le prestazioni della struttura. Nelle strutture pre-Khalili non era utilizzato, data la loro temporaneità;
 - L'utilizzo di un sacco di polipropilene molto lungo, invece che molti sacchi singoli, che viene riempito di terra non organica e umida, viene posato per creare il muro (dritto o curvo) e infine viene battuto per compattare la terra in esso.

Quindi rientra nelle tecniche a terra battuta, però a differenza di altre tecniche, il sacco funge da forma e rimane all'interno della struttura. La tecnica Superadobe è molto adatta alla creazione di cupole. In questo caso il sacco viene steso in modo circolare creando un anello. Anelli di terra battuta con diametri sempre più piccoli vengono impilati gli uni sugli altri fino alla chiusura della cupola.

Per abbattere i costi, l'utilizzo di ulteriore energia per il trasporto e le immissioni di CO₂ nell'atmosfera, si predilige sempre l'impiego della terra locale. Se la terra locale non è adatta, oppure il terreno dove si costruisce non può essere scavato, la terra viene presa da posti il più vicino possibile al cantiere.

In Italia, riguardo questa tipologia, il suo uso non è completamente permesso in quanto la normativa italiana non prevede la terra cruda come materiale edile. Nel momento in cui si usa la terra come elemento portante diventa estremamente difficile e complicato ottenere i permessi per costruire, perché la terra non è normata, ed è un problema che include tutte le strutture di terra cruda in Italia costruite con qualsiasi tecnica. L'unico modo alternativo percorribile per la terra cruda come materiale edile sarebbe quello di costruire una struttura portante, in legno o in metallo, e poi tamponarla con la terra.

Un altro problema/paradosso è rappresentato dai requisiti antisismici a cui le nuove abitazioni devono sottostare: è infatti necessario dimostrare che una casa di terra costruita in un certo modo resista a delle scosse di terremoto: anche in questo caso, la non facile standardizzazione del materiale non aiuta. Bisognerebbe creare della documentazione a livello nazionale o europeo che provi la resistenza di queste case ai sismi. Nonostante

questo, le strutture sono state testate dall'Istituto Call–Earth in California (l'istituto che in California studia la tecnica e organizza corsi didattici), quindi nella normativa attuale Californiana le costruzioni in Superadobe, se aderiscono a determinati criteri costruttivi, sono considerate a tutti gli effetti non solo antisismiche ma anche anti–alluvione, anti–uragano e ignifughe.

Mushroom House

Ecovative Design è un'azienda che produce bioplastiche a partire dai miceli (l'insieme delle ife che costituiscono il corpo vegetativo dei funghi, le radici) con base a Green Island, New York. Da anni lo staff cerca soluzioni per sostituire l'uso della plastica per gli imballaggi e per l'edilizia. Ecovative sta costruendo la prima The Mushroom Tiny House, una piccola casa isolata con i funghi.

Ecovative da tempo sfrutta le potenzialità delle radici dei funghi (micelio) per realizzare un materiale isolante che possa sostituire completamente le comuni schiume plastiche o il polistirolo. Dopo il grande successo riscosso per l'impiego dell'isolamento naturale a base di funghi come materiale di imballaggio, l'eccentrica azienda ha deciso di lanciarsi in altre sperimentazioni.

La Mushroom House corona questo sogno dimostrando, anche se in piccole dimensioni, le potenzialità di questo materiale ecologico, rinnovabile, naturale e nello stesso tempo ad alte prestazioni.

L'impiego del “*mushroom insulation*” è semplicissimo: le pareti di legno della casa vengono riempite di micelio che forma una struttura ermetica; in poco meno di un mese questo strato di isolamento naturale si asciuga trasformandosi in una parete perfettamente ermetica, termicamente resistente, ecologica al 100%, priva di VOC ed ignifuga. Le radici dei funghi, infatti, in pochi giorni crescono all'interno del legno e, dopo circa un mese, si seccano dando vita ad un muro. Il materiale ricavato è simile alla cellulosa. Ma a differenza di quest'ultima il micelio è in grado di crescere e sigillare ogni foro, inoltre è naturalmente resistente al fuoco, senza che sia necessario aggiungere sostanze ritardanti delle fiamme, e potenzialmente tossiche.

Ecovative promette insomma di costruire muri addirittura più sicuri di quelli convenzionali. Un risultato che va oltre le aspettative iniziali anche perché le pareti, nonostante la mancanza di chiodi, si sono dimostrate molto resistenti (anche durante il trasporto in autostrada).

Il co-fondatore di Ecovative, Eben Bayer, afferma: *“Il cuore della nostra idea di edilizia, è quello di offrire ad architetti, costruttori e consumatori la soluzione definitiva per una costruzione eco-friendly ad alta efficienza energetica e ad un prezzo molto meno costoso per la nostra salute, l’ambiente e il nostro portafogli”*.

4.5 Casa HI-LOW

Il progetto, concepito dall’azienda *“Pedone Working”* di Bisceglie (BT) in collaborazione con l’azienda *“Equilibrium”* di Cividino (BG), è un esempio delle scelte dell’azienda pugliese. Questa è orientata verso l’alta qualità progettuale e costruttiva che tiene conto della biocompatibilità, della sostenibilità e dell’ecologicità delle costruzioni, con particolare riferimento all’intera vita del prodotto edilizio. Dal reperimento delle materie prime ai processi produttivi dei materiali, dalle problematiche legate alla posa alle caratteristiche d’uso, dalla manutenzione e riparazione alla dismissione del bene, relativamente al recupero e alla riciclabilità dei materiali.

L’elemento fondamentale di questo prefabbricato è la Muratura Vegetale (di cui parlerò nello specifico nel paragrafo *“4.5.1 Elementi costitutivi”*), ossia dei pannelli modulari adattabili a qualsiasi tipo di struttura portante a telaio. Consente di raggiungere elevatissimi standard energetici e sostenibili a costi e tempi di realizzazione notevolmente contenuti. La maggior parte dei dati e delle informazioni mi sono state date dall’architetto Andrea Ziccardi, che ringrazio per la disponibilità e la professionalità.



4.5.1 Elementi costitutivi

L'involucro di Casa HI-LOW è costituito da pannelli prefabbricati, assemblati in opera, in Muratura Vegetale. Ciascun pannello si compone di un telaio in legno lamellare, opportunamente trattato per resistere all'umidità, all'interno del quale viene spruzzato il composto *Natural Beton 200* (rapporto calce-canapa 1:1), per uno spessore pari a 26 cm. Su entrambi i lati del pannello viene posato del cannucciato in bambù a sua volta rifinito con un ulteriore spruzzo, pari a 4 cm, del composto *Natura Beton 500* (rapporto calce-canapa 4:1).

Il pannello così costituito è altamente performante e con la sua massa, pari a 37 cm di spessore totali, garantisce:

- Ottimali prestazioni termiche (conduttività termica pari a 0,053 W/mK), per isolamento sia invernale che estivo;
- Un elevato assorbimento acustico;
- Alta riciclabilità grazie alla possibilità di essere frantumato e rimpastato con acqua e calce e, se smantellato, la sua decomposizione avviene naturalmente essendo completamente privo di sostanze tossiche.

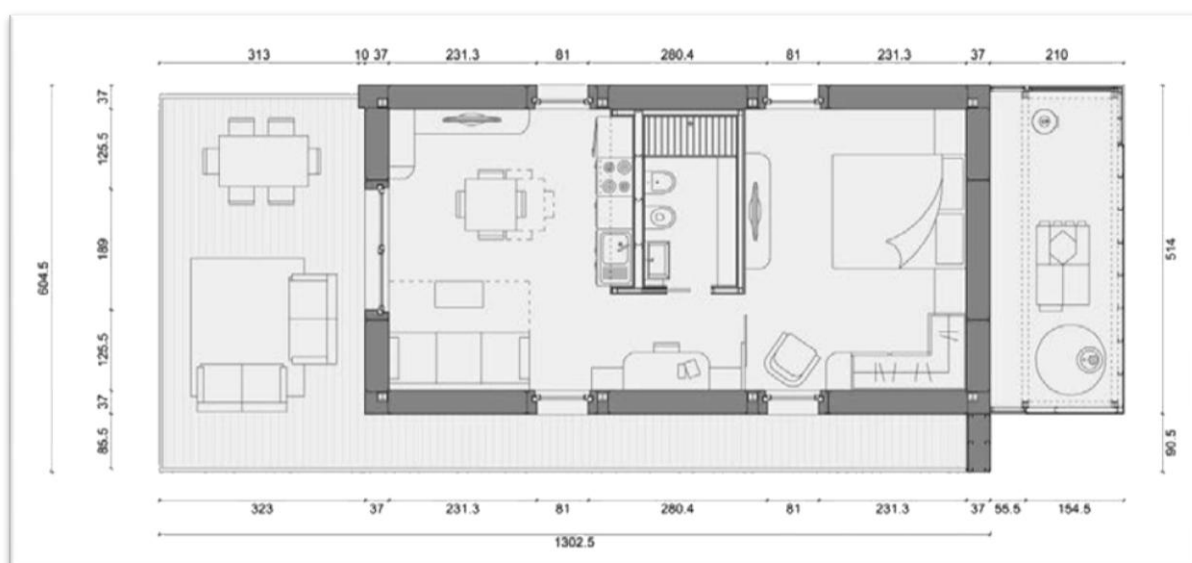
La struttura di Casa HI-LOW è costituita da profili in acciaio presso-piegato riciclato dell'azienda "*Scaff System*" di Ostuni (BR), che garantiscono le seguenti prestazioni:

- Leggerezza strutturale;
- Standardizzazione dei profilati, che si traduce in ottimizzazione dei costi di produzione;
- Possibilità di garantire elevati standard di protezione antincendio;
- Montaggio e smontaggio in cantiere più rapido e a basso costo;
- Canalizzazione impiantistiche perfettamente integrate;
- Elevata adattabilità a nuovi utilizzi e finalità;
- Derivazione da processi di riciclaggio dei residui di lavorazione, e riutilizzabile al 100%.

Nello specifico sono adoperati i profili in acciaio di altezza 200 mm, larghezza 75 mm e spessore dell'acciaio 4 mm., agganciati a travi 150x150 mm sempre con spessore 4 mm.

Il primo impalcato (pavimento) è realizzato sovrapponendo una lamiera grecata (di derivazione, come per la struttura portante in acciaio, da processi di riciclaggio dei residui di lavorazione e riutilizzabile al 100%) alla struttura in acciaio, che, dopo l'applicazione dei pannelli parete lungo il perimetro, crea uno spazio nella quale si predispongono le tubazioni degli scarichi e degli impianti (elettrico ed idrico). Infine, si versano 18 cm di *Natural Beton 200*, in modo da inglobare le tubazioni ed attenuare le vibrazioni della struttura; su questo strato di *Natural Beton 200* si applica un massetto a secco di *Fermacell* in Gessofibra (realizzato da una miscela di gesso e carta riciclata proveniente dagli scarti di lavorazione dei giornali) di spessore pari a 2 cm; e poi si procede alla pavimentazione. Per quanto concerne il secondo impalcato (copertura), si applica del cannicciato di 2 cm di spessore all'intradosso della struttura metallica, e poi si controsoffitta il tutto verso l'interno dell'abitazione. Successivamente, vengono versati 20 cm di *Natural Beton 200* all'estradosso della struttura, in modo che il cannicciato li contenga e ne preservi le proprietà di traspirazione, isolando sia termicamente che acusticamente la struttura. Infine, viene fatto un assito con una leggera pendenza applicando dei listelli in legno con altezze diverse a ridosso delle travi in acciaio, sui quali si monta un tavolato in legno rivestito con guaina adesiva per il deflusso delle acque meteoriche.

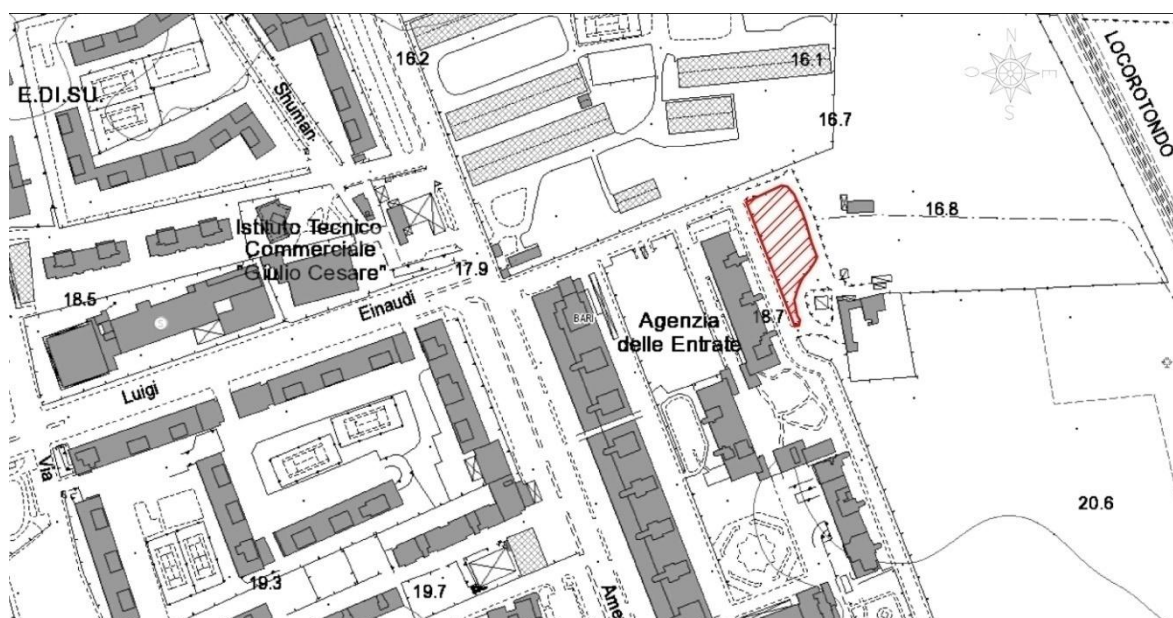
La Muratura Vegetale è stata sviluppata per garantire una perfetta continuità dell'involucro edilizio a ridosso della struttura, in modo da eliminare qualsiasi ponte termico, e garantire temperature superficiali conformi alla stringente Normativa CASA-CLIMA (superiore a 17°C lungo le pareti, e superiore a 13°C nei punti di contatto tra parete e telaio degli infissi).



Per quanto riguarda il montaggio della casa HI_LOW, attualmente, si procede prima con l'assemblaggio a Bisceglie (in un cantiere della stessa azienda "Pedone Working") della Muratura Vegetale, per poi essere applicata alla struttura portante direttamente in loco. Questo processo, come l'intero progetto, è ancora in via di sviluppo e miglioramento, infatti si sta progettando anche una versione che partirà totalmente pre-assemblata.

4.6 Protocollo ITACA Puglia della Casa HI-LOW

Per la compilazione del Protocollo ITACA si è ipotizzato l'area di pertinenza a Bari in Viale Vito Vittorio Lenoci, una parallela di Via Giovanni Amendola, altezza Viale Luigi Einaudi.



L'area di pertinenza si è ipotizzato essere composta da tre piccoli lotti con i prefabbricati, circondati da un giardino privato delineato da una bassa siepe. Inoltre nell'area sono presenti alberi di altezza tra i 2 e i 3 metri.



Dei tre fabbricati si studia, in questo caso, quello ad angolo (quello con il tratteggiato). La numerosa area verde va a compensare l'effetto "Isola di Calore" del pannello fotovoltaico (Criterio C.6.8).

Riguardo l'impiantistica si considera l'uso di VMC (ventilazione meccanica controllata) e di pannelli fotovoltaici in copertura. Per l'impianto di riscaldamento/raffrescamento si considera una pompa di calore aria-aria, e l'impianto per la produzione di ACS con boiler a PDC. Le caratteristiche e le prestazioni di tutti gli impianti si considerano tali da fornire, secondo il protocollo ITACA, un punteggio e delle prestazioni come nella tabella sottostante:

Criterio	Scala di Prestazione	Punteggio
B.1.2 Energia primaria per il riscaldamento	Tra Buono e Ottimo	4
B.1.5 Energia primaria per la produzione di acqua calda sanitaria	Tra Buono e Ottimo	4
B.3.2 Energia prodotta dal sito per usi termici	Ottimo	5
B.3.3 Energia prodotta dal sito per usi elettrici	Ottimo	5
B.6.1 Energia netta per il riscaldamento	Tra Buono e Ottimo	4
B.6.1 Energia netta per il raffrescamento	Tra Buono e Ottimo	4
B.1.2 Emissioni previste in fase operativa	Ottimo	5

4.7 Analisi dei criteri

In questo paragrafo analizzerò e commenterò i risultati di alcuni dei criteri rilevanti per l'argomento di tesi. Il dettaglio dello svolgimento dei singoli criteri, con relativi calcoli e valori numerici, è presente nell'“Appendice”.

4.7.1 “B.4.6 Materiali riciclati/recuperati”

Nonostante questo rappresenti un criterio fondamentale, il punteggio risulta molto basso, essendo limitate le componenti riciclate (lastre in gessofibra, deck in legno composito riciclato ed il vetro cellulare).

In questo caso, però, ho ipotizzato che questa sia la prima costruzione di una casa HI-LOW. Considerando la sua completa smontabilità e riciclabilità (il tutto viene esplicitato meglio nel paragrafo 4.7.4 “B.4.10 Materiali riciclabili e smontabili”), in un ipotetico progetto reale, il prefabbricato può essere stato completamente composto a partire da un'altra casa HI-LOW, ottenendo così un punteggio massimo in questo criterio.

Di conseguenza, nonostante il punteggio risulti essere così basso, data la sua completa riciclabilità e smontabilità, è possibile considerare i due criteri correlati tra loro, in modo che il B.4.10 compensi le iniziali mancanze di questo criterio.

Un altro fattore rilevante è la provenienza del materiale riciclato della struttura portante in acciaio non considerato dal criterio. Infatti per questo criterio, il protocollo ITACA trascura la provenienza della struttura portante.

4.7.2 “B.4.7 Materiali da fonti rinnovabili”

Questo è tra i criteri principali, nonché tra i punti forti della Casa HI-LOW. La Muratura Vegetale (descritta nel dettaglio nel paragrafo “4.5.1 Elementi costitutivi”) è interamente composta da materiali di origine vegetale (canapa, bamboo, legno, sughero) che, in alcuni casi (canapa e bamboo), presentano anche tempi di crescita della pianta molto brevi. Anche per i due impalcati, per i pannelli divisori interni, e l'aggetto e i rivestimenti esterni vale la stessa origine.

4.7.3 “B.4.8 Materiali locali” e “B.4.9 Materiali locali per finiture”

Nella versione in esame della casa HI-LOW il prefabbricato viene assemblato direttamente nel sito in cui dovrà essere collocato. I pannelli murari e tutte le componenti dell'involucro vengono realizzate nei cantieri della “Pedone Working” a Bisceglie (BT), mentre la

struttura in acciaio viene realizzata ad Ostuni (BR) da “*Scaff System*”, e gli infissi vengono assemblati presso la “*Leat*” di Altamura (BA): quindi tutti i materiali si possono considerare di provenienza locale.

4.7.4 “B.4.10 Materiali riciclabili e smontabili”

Delle otto aree di applicazione considerate dal protocollo (escludendo i balconi perché non presenti nel progetto), tutte adottano soluzioni riciclabili o smontabili. Questo è un altro criterio cardine del progetto ed è stato possibile grazie alla cura nella scelta dei materiali e delle relative soluzioni costruttive.

Tutti i materiali che compongono la casa HI-LOW sono riciclabili e smontabili, dal momento che la struttura può essere totalmente riutilizzata semplicemente smontandola e rimontandola altrove, come anche i pannelli murari in Muratura Vegetale, i quali però possono anche essere riportati allo stato di materiale da costruzione, riutilizzando la canapa (come detto del paragrafo “3.4.7 *Riciclabilità*”), il bamboo ed il legno.

Anche i solai possono essere riciclati, in quanto sia il *Natural Beton* che il legno sono riutilizzabili al 100%. Lo stesso discorso vale anche per le lastre in gessofibra.

Particolare anche la struttura portante che, anche se non contemplata nel criterio, è smontabile e riutilizzabile.

4.7.5 “B.4.11 Materiali bio-sostenibili”

Grazie alla cura e all’attenzione nella scelta dei materiali da parte dell’azienda “Pedone Working” ed agli autori del progetto, tutti i materiali utilizzati hanno un marchio di qualità ecologico riconosciuto.

4.7.6 “B.6.3 Trasmittanza termica dell’involucro edilizio”

Un’altro dei punti forti del progetto è il confort termico interno, che si dimostra ottimo grazie ai risultati di questo criterio, ovvero il “B.6.5 *Inerzia termica dell’edificio*” e del “D.3.2 *Temperatura dell’aria nel periodo estivo*”.

Riguardo questo criterio, cioè l’esigenza di ridurre lo scambio termico per trasmissione durante il periodo invernale, il risultato ottenuto è al di là delle aspettative. Considerando che il rapporto percentuale di riferimento nel protocollo considera come valore necessario un punteggio massimo di 66,7%, il caso in esame ha dato come risultato 42,55%, ossia un valore nettamente superiore.

Questo punteggio così alto è merito, principalmente, del composto *Natural Beton*, a dimostrazione di quanto detto nel paragrafo “3.4.1 Isolamento termico”.

4.7.7 “B.6.4 Controllo della radiazione solare”

L’obiettivo di questo criterio è quello di evidenziare se sono presenti delle riduzioni di apporti solari nel periodo estivo.

In questo caso il punteggio risulta basso, senza essere totalmente penalizzante per il punteggio complessivo. La colpa principale è dovuta alla mancata ottimizzazione dei sistemi schermanti, fattore migliorabile, ad esempio, con l’uso di una schermatura esterna piuttosto che interna.

Riguardo l’ombreggiamento, è preferibile non aumentarla per non andare a danneggiare il punteggio ottenuto nel criterio “D.4.1 Illuminazione naturale”.

4.7.8 “B.6.5 Inerzia termica dell’edificio”

Come detto del paragrafo “4.7.6 “B.6.3 Trasmittanza termica dell’involucro edilizio””, questo criterio rappresenta uno dei punti forti del progetto.

Con questo criterio si esige di mantenere buone condizioni di confort termico negli ambienti interni durante il periodo estivo, evitando il surriscaldamento dell’aria. In questo caso il rapporto percentuale è di 26,9%, con un valore necessario per il punteggio massimo del 25%. Rispetto al criterio B.6.3, il valore non è superiore, anzi risulta lievemente inferiore conferendogli un 4,87 come punteggio.

Tale risultato, in ogni caso ottimo, è merito del composto *Natural Beton*, a dimostrazione di quanto detto nel paragrafo “3.4.1 Isolamento termico”. Inoltre lo sfasamento termico della parete verticale è di ben 21,08h.

4.7.9 “C.6 Impatto sull’ambiente circostante: effetto isole di calore”

L’isola di calore è l’effetto di innalzamento della temperatura nelle zone urbane rispetto alle zone rurali circostanti (fino a 4–5°C). Riguardo le superfici orizzontali prese in esame, è generalmente provocato dall’azione combinata di:

- Limitata permeabilità all’acqua per raffrescamento evaporativo;
- Elevato assorbimento solare dei rivestimenti delle superfici degli edifici.

Quanto più le superfici sono riflettenti, tanto meno assorbono la radiazione luminosa incidente, con successiva emissione nell’infrarosso, sotto forma di calore.

In questo caso il punteggio non è massimo (pari a 2,83) a causa dei pannelli fotovoltaici che, nonostante il guadagno energetico, causano un maggior assorbimento di radiazioni luminose e relativo aumento di calore.

Questo punteggio viene compensato da quello del criterio *C.6.9* relativo alle aree esterne, che presenta il punteggio massimo grazie alla presenza della sola area verde. È importante considerare che, di tutta l'area presa in esame nel progetto, la maggior parte è area verde, rispetto ai tre prefabbricati di area limitata.

4.7.10 “D.3.2 Temperatura dell’aria nel periodo estivo”

Dati i risultati ottenuti ai criteri *B.6.4* e *B.6.5*, considero un risultato medio–alto. Il valore medio–basso è dovuto alla radiazione solare e compensato dall’alta inerzia termica, ma soprattutto per l’elevato valore di sfalsamento termico del prefabbricato.

4.7.11 “D.4.1 Illuminazione naturale”

L’obiettivo di questo criterio è quello di assicurare adeguati livelli d’illuminazione naturale in tutti gli spazi primari occupati.

In questo caso il punteggio risulta molto elevato, grazie sia alla scelta degli infissi, sia alla loro posizione, sia alla geometria dei vari ambienti.

4.7.12 “D.5.6 Qualità acustica dell’edificio”

In questo caso si è potuto solo avanzare un’ipotesi, non essendo possibile l’uso di prova in sito. Tramite i dati datomi dall’architetto Andrea Ziccardi, cioè:

- Muratura verticale: attenuazione acustica di quasi 60 dB
- Solaio di copertura: attenuazione acustica di quasi 50 dB

In media considero, quindi, una classe acustica globale di II. Questo andrebbe a confermare quanto detto nel paragrafo “*3.4.3 Isolamento acustico*”.

4.7.13 “E.6.1 Mantenimento delle prestazioni dell’involucro edilizio”

Grazie alla scelta dei materiali e alle loro relative proprietà, in particolare al *Natural Beton*, non è presente condensa interstiziale. La durabilità e l’integrità degli elementi costruttivi non viene compromessa, che, combinato con la riciclabilità del criterio *B.4.10*, aumenta notevolmente il ciclo di vita del prefabbricato.

4.8 Considerazioni finali

Il punteggio finale ottenuto risulta essere **3,84**, che come punteggio risulta essere compreso tra:

- +3: rappresenta un significativo miglioramento della prestazione rispetto ai regolamenti vigenti ed alla pratica comune. È da considerarsi come la migliore pratica corrente;
- +4: rappresenta un moderato incremento della migliore pratica corrente.

Per un giudizio finale su questo risultato bisogna tenere conto che per alcuni criteri si è trascurato l'uso di tecnologie e tecniche migliorative. Si è considerato quindi una situazione progettuale minima su tutto l'ambito intorno all'involucro vero e proprio, di conseguenza un punteggio, nel Protocollo ITACA, minimo di partenza.

Nello specifico, i criteri dove si potrebbero applicare delle strategia migliorative sono:

- *“A.1.5 Livello di urbanizzazione del sito” e “A.3.2 Integrazione con il contesto urbano e paesaggistico”* con un punteggio medio a causa della scelta di locazione sfavorevole;
- *“B.5.1 Acqua potabile risparmiata per usi indoor e per irrigazione”, “C.4.1 Acque grigie inviate in fognatura” e “C.4.2 Acque meteoriche captate e stoccate”* con un punteggio basso, o pari a zero come nel caso del criterio C.3.2. Sono punteggi migliorabili con l'impiego di sistemi:
 - Per il recupero dell'acqua piovana;
 - Per la raccolta e la depurazione delle acque grigie derivati dagli effluenti prodotti dalle attività domestiche o raccolta degli impianti.
- *“C.3.2 Rifiuti solidi prodotti in fase operativa”* con un punteggio pari a zero per la mancata protezione dell'area di raccolta differenziata dei rifiuti.
- Riguardo alcuni criteri, si è approfondito nei paragrafi precedenti, come:
 - *“B.4.6 Materiali riciclati/recuperati”* nel paragrafo 4.7.1;
 - *“B.6.4 Controllo delle radiazioni solari”* nel paragrafo 4.7.7;
 - *“C.6.8 Effetto isola di calore: copertura”* nel paragrafo 4.7.9.

Quindi, considerando il punteggio di 3,84 come un risultato minimo migliorabile con alcune strategie di sostenibilità, il giudizio finale si può considerare ottimo, facendo risultare la Casa HI-LOW dell'azienda “Pedone Working” un progetto innovativo e competitivo riguardo la situazione attuale.

Conclusione

In questo periodo storico, dove si dà molta importanza alla sostenibilità ed all'efficienza delle scelte costruttive, la canapa si dimostra essere un ottimo prodotto da ambo i punti di vista.

La canapa, per via della sua nomea, è stata per molto tempo un materiale trascurato, sia per le innovazioni tecnologiche sia per la stessa coltivazione, andando ad incidere sull'economia stessa di molte regioni italiane (come nel caso della Campania). Questo a causa dell'ignoranza circa le diverse specie di canapa, che non distingue quella *Indica* (con THC) da quella *Sativa* (senza THC e quindi usata come materiale).

Finalmente, con le prime norme e la rivalutazione della pianta, si assistette ad una leggera ripresa, che iniziò a farsi notare in Italia soprattutto negli anni '90. Una ripresa che tutt'ora è visibile, proprio per l'importanza che questo materiale sta ottenendo nei vari campi, e, nello specifico di questa tesi, in campo edile.

La continua richiesta di materiali innovativi che vanno a sostituire i materiali tradizionali, che oramai non rispettano più i requisiti di sostenibilità e di efficienza, ha reso la miscela di calce-canapa un prodotto competitivo nel mercato nazionale e internazionale.

Delle sue proprietà, oltre che le caratteristiche più tecniche come l'alta capacità di isolamento termico, è molto rilevante la sua elevatissima capacità di assorbire anidride carbonica durante la fase di crescita. Caratteristica non trascurabile, come si è potuto notare da alcuni confronti in questa tesi, che mostrano il minore impatto ambientale che possiede la canapa. Anche riguardo le proprietà termiche e igrometriche è evidente la migliore efficienza della calce-canapa in relazione ai materiali tradizionali, con, di riflesso, un maggiore risparmio energetico.

Non trascurabile è anche il costo, un fattore spesso usato come deterrente per l'uso delle tecnologie innovative. Si è notato come non esista una forte differenza, dato che il leggero aumento nel costo del prodotto calce-canapa è compensato dal risparmio energetico grazie

all'efficienza del materiale dal punto di vista termico. Anche per quanto riguarda la manodopera l'incidenza sui costi diminuisce con l'aumento dell'esperienza degli addetti.

La casa HI-LOW, un prefabbricato in calce-canapa dell'azienda "Pedone Working" di Bisceglie (BT), rappresenta un chiaro esempio dei vantaggi che ha questo biocomposito. Il mezzo usato, cioè il Protocollo ITACA Puglia, ha mostrato i vari vantaggi che l'uso della canapa può dare sia dal punto di vista tecnico che di sostenibilità.

Questo progetto, ancora in via di perfezionamento, è uno dei metodi con cui la miscela calce-canapa (e la continua ricerca per il suo perfezionamento) sta andando a sostituire l'uso dei materiali tradizionali, oramai inadatti alla situazione globale del pianeta.

I numerosi problemi ambientali non possono più essere trascurati e l'uso di prodotti ecocompatibili, come la canapa, risulta essere tra i migliori modi per il benessere comune.

Amodio Gianpiero

Bibliografia

ANON. " Energia grigia o embodied energy". Disponibile su:

<<http://www.architetturaecosostenibile.it/normative/dizionario/energia-grigia-embodied-energy-286/>>

ANON. "I protocolli Italiani: CasaClima". Disponibile su

<http://www.itaca.org/documenti/rassegna_stampa/arketipo_estr.pdf>

ANON., 2013. Coltivare la canapa: istruzioni per l'uso. Disponibile su

<<http://www.econote.it/2013/05/15/coltivare-la-canapa-istruzioni-per-luso/>>

ANON., 2013 " Completata a NY la prima casa “coltivabile” fatta di funghi"

ANON., 2013. "La neoedilizia e l'affermarsi necessario di un cambio paradigma, anche culturale". Disponibile su

<http://www.greenreport.it/_archivio2011/?page=default&id=20138 >

ANON., 2014. "La canapa, una ricchezza italiana". Disponibile su

<<https://acateringveg.wordpress.com/2014/02/21/la-canapa-una-ricchezza-italiana/>>

Building Research Establishment, 2002, "Final Report on the Construction of the Hemp Houses at Haverhill", Suffolk Client report number 209-717 Rev.1. (BRE, 2002)

Building Research Establishment, 2003, "Thermographic Inspection of the Masonry and Hemp Houses – Haverhill", Suffolk Client Report Number 212020. (BRE, 2003)

Built Environment Sustainable Research and Consultancy (BESRaC), 2013. "Hemp Lime Bio-composite as a Building Material in Irish Construction".

Capassio, S., 1994. "Canapicoltura e sviluppo dei Comuni atellani".

Cristian C., Ottavio R., 2012. "EDILIZIA A BASSO IMPATTO AMBIENTALE: ANALISI DEL CICLO DI VITA DI MATERIALI NATURALI A BASE DI CALCE-CANAPULO". Prova finale in Ingegneria Civile, Ambientale e Territoriale, Politecnico di Milano.

Dedda, C., 2013. "Valutazione energetica su edifici costruiti con materiali non convenzionali la canapa". Prova finale in Ingegneria Civile, Università di Bologna.

Ferrarini M., 2013. "Protocolli di certificazione LEED e BREEAM, un confronto all'americana". Disponibile su <<http://www.ediltecnico.it/16336/protocolli-di-certificazione-leed-e-breeam-un-confronto-allamericana/>>

Guerra A., 2015. "Materiali biocompositi in architettura. Il primo pannello per facciate"

Guida alla "Legge Regionale n.13 del 10 giugno 2008 "Norme per l'abitare sostenibile""

Ianes, D., 2013. "Il contributo della canapa nella bioedilizia, un potenziale non del tutto rivelato". Prova finale in Ingegneria Civile, Università degli studi di Trento.

Lawrence, M., Fodde, E., Paine, K. and Walker, P. (2012). "Prestazioni termoigrometriche di una costruzione sperimentale in canapa-calce".

Madia T., Tofani C.. 1998. "La coltivazione della canapa".

Narducci M., 2011. "La Canapa nell'Edilizia". Prova finale in Scienze dell'Architettura, Politecnico di Torino.

Patrone V., 2015. "Superadobe e Earthbags: costruire in terra cruda"

Ponzoni L., Sorek Y., 2012. "“COLTIVARE” L’ARCHITETTURA SOSTENIBILE
TECNICHE COSTRUTTIVE E ABACCHI DELLE STRATIGRAFIE CON L’IMPIEGO
DEL CALCECANAPULO". Prova finale in Architettura, Politecnico di Milano.

Rhydwen, R. "Building with Hemp and Lime"

Ronchetti P., 2007. "Il cemento di canapa e calce: un promettente materiale e metodo di
costruzione per l’edilizia sostenibile". Disponibile su
<http://www.usidellacanapa.it/pdf/cemento_di_canapa_e_calce.pdf>

Saporiti C., 2013 "Mushroom House: dai funghi il nuovo isolante per l'edilizia"

Test Conduttività termica Biomattone

Test Conduttività termica Natural Beton 200

Test Indice attenuazione acustica Biomattone

Tofani C., 2014. Il vademecum di Toscanapa sulla raccolta di canapa. Presente nella rivista
on-line "Canapa Industriale". Anno 1 - Numero 3.

Leggi

D.lgs 19 agosto 2005, n.192

D.P.R. 59/09

Legge Regionale n.13 del 10 giugno 2008 "Norme per l'abitare sostenibile"

UNI 10349

UNI 10375

UNI EN 6946

UNI EN 13363

UNI EN 13947

UNI EN 15193

UNI EN ISO 10077-1

UNI TS 11300

UNI/PdR 13.0:2015

Siti Internet

<http://www.assocanapa.it/>

<http://www.breeam.org/>

<http://www.equilibrium-bioedilizia.com/>

<http://www.gruppofibranova.it/>

<http://www.itaca.org>

<http://www.regione.puglia.it/>

Appendice

A. Qualità del sito

A.1.4 Riutilizzo del territorio

La verifica del criterio comporta la seguente procedura:

1. Calcolare l'area complessiva del lotto di intervento (A)

$$A=232,56 \text{ m}^2$$

2. Suddividere il lotto in aree riconducibili ai seguenti scenari:

C_i = Aree con caratteristiche del terreno allo stato naturale o sulla quale erano ospitate attività di tipo agricolo;

C_{ii} = Aree sulla quale sono state svolte o sono previste operazioni di bonifica;

C_{iii} = Aree con presenza di manufatti da demolire;

C_{iv} = Aree interstiziali o di margine degradata e abbandonata all'interno del tessuto urbano;

$A = C_i + C_{ii} + C_{iii} + C_{iv}$ = area complessiva del lotto.

3. Calcolare l'estensione di ciascuna delle aree individuate al punto precedente:

$$C_{iv} = 232,56 \text{ m}^2$$

4. Calcolare il livello di utilizzo pregresso del sito attraverso la formula seguente:

$$[(C_i / A) * (-1)] + [(C_{ii} / A) * 0] + [(C_{iii} / A) * 3] + [(C_{iv} / A) * 5] = 5$$

Scala di Prestazione: **Ottimo**

Punteggio: **5**

A.1.5 Livello di Urbanizzazione del sito

Scegliere tra gli scenari proposti quello che meglio descrive le caratteristiche dell'intervento in oggetto:

- a) Contesti della diffusione: area agricola o di espansione a bassa densità (Punteggio - 1);
- b) Contesti urbani in formazione: zona di espansione prevista dallo strumento urbanistico vigente (Punteggio 0);
- c) Contesti urbani consolidati e in via di consolidamento: zone B e C in via di completamento (Punteggio 3);
- d) Contesti urbani periferici e marginali: zone B e/o C con caratteristiche di marginalità o degrado urbano e/o sociale (Punteggio 5).

Scala di Prestazione: **Ottimo**

Punteggio: **5**

A.1.6 Accessibilità al trasporto pubblico

Per la verifica del criterio seguire la seguente procedura:

1. Individuare l'ingresso principale dell'edificio;
2. Individuare la fermata del trasporto pubblico più vicina all'ingresso principale;
3. Calcolare la distanza che un pedone deve percorrere per raggiungere dall'ingresso principale la fermata del trasporto pubblico più vicina: in questo caso la distanza è di circa **150 m**
4. Attribuire il punteggio sulla base della scala di prestazione

Scala di Prestazione: **Buono**

Punteggio: **4,33**

A.1.8 Mix funzionale dell'area

La verifica del criterio comporta la seguente procedura:

1. Individuare le strutture di commercio, di servizio, sportive e culturali della zona secondo la seguente suddivisione:
 - a. Strutture di commercio: negozi di beni alimentari e di prodotti per la casa, edicola, Ristorazione e locali pubblici affini (ristorante, pizzeria, bar);
 - b. Strutture di servizio: ufficio postale, strutture di servizio sanitario pubbliche o convenzionate, asili nido, d'infanzia, scuola materna, scuola elementare, banca, farmacia, giardino pubblico;
 - c. Strutture sportivo/culturali: struttura sportiva, teatro, cinema, biblioteca, museo-spazio espositivo;

2. Calcolare la distanza in metri da percorrere a piedi, che separa il punto di accesso principale all'edificio e i punti di accesso di 5 strutture afferenti alle categorie sopracitate:

- Supermercato: 230m
- Farmacia: 367m
- Scuola elementare: 158m
- Ristorante: 250m
- Palestra: 204m

3. Calcolare la somma delle distanze (D_i) che separano l'ingresso principale dell'edificio in progetto dalle attività individuate al punto precedente e dividere il valore trovato per il numero delle attività in esame:

$$\text{Indicatore} = \frac{D_1 + D_2 + D_3 + D_4 + D_5}{5}$$

In questo caso l'indicatore sarà: **241,8 m**

4. Attribuire il punteggio sulla base della scala di prestazione

Scala di Prestazione: **Ottimo**

Punteggio: **5**

A.1.10 Adiacenze ad infrastrutture

La verifica del criterio comporta la seguente procedura:

1. Calcolare la lunghezza in metri del collegamento da costruire, o da adeguare, fra il lotto di intervento e:
 - La rete elettrica esistente;
 - La rete fognaria esistente;
 - La rete dell'acquedotto esistente;
 - La rete gas esistente.
2. Calcolare la media aritmetica delle lunghezze calcolate ai punti precedenti
Considerando l'edificio antistante, considero una media di 20m
3. Attribuire il punteggio sulla base della scala di prestazione

Scala di Prestazione: **Ottimo**

Punteggio: **5**

A.3.2 Integrazione con il contesto urbano paesaggistico

E' un criterio di tipo qualitativo e si sceglie tra gli scenari proposti quello che descrive meglio l'oggetto in esame.

In questo caso lo scenario più idoneo è "Intervento di recupero di edifici rurali con tecniche e materiali tradizionali del luogo. Intervento in area urbanizzata compatibile con il contesto e che riesce a qualificare positivamente il paesaggio urbano."

Scala di Prestazione: **Buono**

Punteggio: **3**

A.3.3 Aree esterne di pertinenza dell'edificio trattate a verde

In questo caso va calcolato il rapporto percentuale fra il numero complessivo di elementi vegetali di tipo autoctono o di uso storico (B), presenti all'interno delle aree esterne di pertinenza, e quello totale (A): $(B/A)*100$

Considerando, ad eccezione dei tre fabbricati, l'uso di sola vegetazione nell'area considerata, il punteggio è massimo.

Scala di Prestazione: **Ottimo**

Punteggio: **5**

A.3.4 Supporto alla mobilità sostenibile

1. Calcolare il numero previsto di occupanti dell'edificio (A);

Ai fini del calcolo si consideri:

n°1 persona per ogni camera da letto di dimensioni minore di 14 mq;

n°2 persone per camere da letto di dimensione maggiore o uguale a 14 mq;

Quindi in questo caso: $A=2$

2. Calcolare il numero previsto di posteggi per le biciclette e/o postazioni di ricarica (B);

Ne prevedo due ad alloggio.

3. Calcolare il rapporto tra il numero previsto di posteggi per le biciclette e/o postazioni di ricarica ed il numero previsto di occupanti dell'edificio: $(B/A)*100$
4. Assegnare il punteggio in base alla scala di valutazione

Scala di Prestazione: **Ottimo**

Punteggio: **5**

B.4.6 Materiali riciclati/recuperati

1. Calcolare il volume complessivo dei materiali e dei componenti che costituiscono l'involucro opaco, l'involucro trasparente e i solai interpiano dell'edificio in esame ($A = 70,78 \text{ m}^3$).
2. Calcolare il volume complessivo dei materiali che costituiscono l'involucro opaco, l'involucro trasparente e i solai interpiano dell'edificio in esame che appartengono alla categoria "materiali riciclati e/o di recupero".
Gli unici materiali che rispettano questo criterio sono le lastre in gessofibra, i deck in legno composito riciclato e il vetro cellulare. ($B = 7,28 \text{ m}^3$).
3. Calcolare la percentuale dei materiali e componenti riciclati e/o di recupero rispetto alla totalità dei materiali/componenti impiegati nell'intervento. $B/A * 100$

Indicatore = 10,28%

Scala di Prestazione: **Tra Sufficiente e Buono**

Punteggio: **1,03**

B.4.7 Materiali da fonti rinnovabili

Tutti i materiali provengono da fonti rinnovabili.

Scala di Prestazione: **Ottimo**

Punteggio: **5**

B.4.8 Materiali locali (pesanti)

Tutti i materiali (pesanti) sono di provenienza locale.

Scala di Prestazione: **Ottimo**

Punteggio: **5**

B.4.9 Materiali locali per finiture

Tutti i materiali per finiture sono di provenienza locale.

Scala di Prestazione: **Ottimo**

Punteggio: **5**

B.4.10 Materiali riciclabili e smontabili

Tutti i materiali sono riciclabili o smontabili.

Scala di Prestazione: **Ottimo**

Punteggio: 5

B.4.11 Materiali biosostenibili

Tutti i materiali hanno un marchio di qualità ecologica riconosciuto

Scala di Prestazione: **Ottimo**

Punteggio: 5

B.5.1 Acqua potabile risparmiata per usi indoor e per irrigazione

Per il calcolo dell'indicatore di prestazione e relativo punteggio:

1. Calcolare il volume di acqua potabile (A) necessario per soddisfare il fabbisogno idrico per usi indoor, destinazione d'uso residenziale, pari a quanto previsto dal Piano d'Ambito 2009 dell'ATO Puglia.
 - Eseguire una stima degli occupanti dell'edificio.
Ai fini del calcolo si consideri: 1 persona per ogni camera da letto di dimensione minore di 14 m²; 2 persone per camere da letto di dimensione maggiore o uguale a 14 m². Quindi, in questo caso di studio $ab=2$
 - Calcolare volume di acqua necessaria al soddisfacimento del fabbisogno idrico relativo alle principali attività domestiche, considerando il fabbisogno di riferimento f per un periodo pari a 365 giorni:

$$F_{\text{indoor}} = \frac{ab \cdot n_{\text{gg}} \cdot f}{1000}$$

Dove:

F_{indoor} = fabbisogno idrico annuo di riferimento per usi indoor [m³];

ab = numero di abitanti;

n_{gg} = numero di giorni nel periodo di calcolo = 365 gg;

f = fabbisogno idrico giornaliero complessivo di riferimento. Essendo la popolazione di Bari maggiore di 250000, considero [f = 200 l/ab*g]

Di conseguenza, $F_{\text{indoor}} = 146 \text{ m}^3$

2. Calcolare il fabbisogno di acqua potabile annuo effettivo di progetto (B), considerando. Si prevede l'installazione di tecnologie per il risparmio idrico, quali:
 - Aeratori frangigetto applicati ai rubinetti e alle docce
 - Cassette per WC a doppio tasto

Calcolare il volume annuale di acqua risparmiata complessivamente grazie all'utilizzo delle tecnologie individuate nel passo precedente, moltiplicando il fabbisogno idrico di ciascuna attività domestica per il relativo coefficiente di riduzione dei consumi β_i

$$V_i = \frac{ab \cdot n_{gg} \cdot \sum \beta \cdot eff}{1000}$$

Dove:

- V_i = volume di acqua potabile risparmiata annualmente grazie alle soluzioni tecnologiche adottate, [m³/anno];
- f_i = volume pro capite di acqua necessario quotidianamente per l'attività domestica i-esima, [l/ab gg];
- β_i = coefficiente di riduzione dei consumi idrici per l'attività domestica i-esima, [%];
- ab = numero di abitanti previsti per l'edificio in progetto;
- n_{gg} = numero di giorni del periodo di calcolo, pari a 365.

Tipologia di attività domestica	Fabbisogno	B_i	Risparmio
Usi alimentari	8	-	0
Lavaggio biancheria	50	-	0
Lavaggio stoviglie	8	10%	0,8
Lavaggio casa (altro)	12	10%	1,2
Lavaggio personale (escluso bagno)	22	10%	2,2
WC	50	35%	17,5
Bagno, doccia	50	7%	3,5
Totale	200		25,2

Di conseguenza, $V_i = 18,396 \text{ m}^3$

I contributi derivanti da:

- L'impiego di acqua piovana destinata a usi indoor (V_{ii});
- L'impiego di acque grigie destinata a usi indoor (V_{iii});
- Il reimpiego di acqua utilizzata per l'impianto di climatizzazione e destinate a usi indoor (V_{iv}).

Sono nulli dato che non è previsto l'uso di impianti di riciclo.

In conclusione, il fabbisogno di acqua potabile annuo effettivo di progetto sarà quindi dato da:

$$F_{\text{indoor_eff}} = F_{\text{indoor}} - V_i - V_{ii} - V_{iii} - V_{iv} \text{ (B)}$$

$$\text{Cioè: } F_{\text{indoor_eff}} = 127,604 \text{ m}^3$$

3. Calcolare il rapporto percentuale tra il volume di acqua risparmiata (V_i) e il volume di acqua necessario per soddisfare il fabbisogno di acqua per usi indoor (F_{indoor})

Indicatore = **14,416%**

Scala di Prestazione: **Tra Sufficiente e Buono**

Punteggio: **1,35**

B.6.3 Trasmittanza termica dell'involucro edilizio

Procedimento:

1. Calcolare la trasmittanza termica media degli elementi di involucro U_m

$$U_m = [\Sigma(A_i * U_i) + \Sigma(L_i * y_i) + \Sigma(A_{wi} * U_{wi})] / [\Sigma(A_i) + \Sigma(A_{wi})]$$

dove:

A_i = area dell'elemento d'involucro opaco i-esimo (m^2)

U_i = trasmittanza termica della parete dell'elemento d'involucro opaco i-esimo ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$)

L_i = lunghezza del ponte termico i-esimo, dove esiste (m)

y_i = trasmittanza termica lineare del ponte termico i-esimo, dove esiste (W/mK)

A_{wi} = area dell'elemento d'involucro trasparente i-esimo (m^2)

U_{wi} = trasmittanza termica media dell'elemento d'involucro trasparente i-esimo (chiusura trasparente comprensiva degli infissi) ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$).

Risulta $U_m = 0,315 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$

2. Calcolare la trasmittanza termica corrispondente ai valori limite di legge U_{lim} per ciascun componente di involucro:

- $U_{i,\text{lim}}$ = trasmittanza termica limite dell'elemento d'involucro opaco i-esimo secondo D.lgs 192/2005 e ss.mm.ii
 - Verticale: $0,46 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$
 - Orizzontale: $0,44 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$

- $U_{wi,lim}$ = trasmittanza termica limite dell'elemento d'involucro trasparente i-esimo (chiusura trasparente comprensiva degli infissi) secondo D.lgs 192/2005 e ss.mm.ii = $3 \text{ W/m}^2\text{K}$
3. Calcolare la trasmittanza termica media degli elementi di involucro corrispondente ai valori limite di legge ($U_{m,lim}$) con la seguente formula :
- $$[\Sigma(A_i * U_{i,lim}) + \Sigma(A_{wi} * U_{w,lim})] / [\Sigma(A_i) + \Sigma(A_{wi})]$$
- dove:
- A_i = area dell'elemento d'involucro opaco i-esimo (m^2)
- A_{wi} = area dell'elemento d'involucro trasparente i-esimo (m^2)
- $U_{m,lim} = 0,7403 \text{ W/m}^2\text{K}$
4. Calcolo il punteggio percentuale: $(U_m / U_{m,lim}) * 100 = \mathbf{42,55\%}$

Scala di Prestazione: **Ottimo**

Punteggio: **5**

B.6.4 Controllo della radiazioni solari

Procedimento:

1. Calcolare il peso da attribuire a ciascuna esposizione, compresa quella orizzontale, in funzione dei dati climatici riportati nella UNI 10349:

$$\text{peso}_{\text{esp},i} = \text{Irr}_{\text{esp},i} / \Sigma \text{Irr}_{\text{esp},n}$$

dove:

$\text{Irr}_{\text{esp},i}$ = irradiazione solare estiva incidente per l'esposizione considerata, in questo caso non considero quella orizzontale non essendoci aperture in copertura [MJ/m^2];

$\Sigma \text{Irr}_{\text{esp},n}$ = sommatoria dei valori di irradiazione solare estiva incidente di tutte le esposizioni dell'edificio [MJ/m^2];

Ricavo:

- $\text{peso}_{\text{esp},\text{Nord}} = 8,9\%$
 - $\text{peso}_{\text{esp},\text{Sud}} = 21,3\%$
 - $\text{peso}_{\text{esp},\text{Est}} = 20,2\%$
 - $\text{peso}_{\text{esp},\text{Ovest}} = 20,2\%$
2. Calcolare, per ciascuna esposizione verticale, i fattori di ombreggiamento medi delle finestre (F_{ov} , F_{fin} , F_{hor}) della stagione di raffrescamento (cioè il periodo dell'anno solare compreso tra 01/06 e il 30/09) per le esposizioni verticali come descritto nella serie UNI TS 11300; I fattori di ombreggiamento vanno scelti in

relazione alla latitudine, all'esposizione di ciascuna superficie e all'angolo azimutale (α) che formano gli assi principali dell'edificio con l'asse NORD- SUD, misurato in senso orario (in questo caso considero la direzione EST)

In questo caso l'unica ombreggiatura è data dall'aggetto per le due finestre a Sud e la porta finestra a Ovest:

- $F_{hor,Sud} = 0,79$
- $F_{hor,Ovest} = 0,59$

3. Calcolare, per ciascun pacchetto finestra/schermo, il valore di trasmittanza solare totale (g_t).

Considero come elemento schermante un tendaggio interno, quindi:

$$g_t = g_{gl} = 0,67$$

4. Calcolare il fattore di utilizzo delle schermature mobili ($f_{sh,with}$) medi della stagione di raffrescamento da prospetto 15 della norma UNI TS 11300-1:

- $f_{sh,with, Nord} = 0$
- $f_{sh,with, Nord} = 0,69$
- $f_{sh,with, Nord} = 0,7$

5. Calcolare, per ciascun pacchetto finestra/schermo, il valore di trasmittanza totale effettiva (g_f) mediante la formula seguente:

$$g_f = F_{ov} * F_{fin} * F_{hor} [(1 - f_{sh, with}) * g_g + f_{sh, with} * g_t]$$

dove:

F_{ov} , 1, 2, 3,..., n= fattore di ombreggiatura relativo ad aggetti orizzontali

F_{fin} , 1, 2, 3,..., n = fattore di ombreggiatura relativo ad aggetti verticali

F_{hor} , 1, 2, 3,..., n = fattore ombreggiatura relativo ad ostruzioni esterne

$f_{sh, with}$ = fattore di riduzione medio per le schermature mobili

g_g = valore di trasmittanza solare del vetro

g_t = valore di trasmittanza solare totale del pacchetto finestra/schermo

Ricavo:

- $g_{f,Nord} = 0,67$
- $g_{f,Sud} = 0,5293$
- $g_{f,Ovest} = 0,3953$

6. Calcolare il valore g_f medio per ciascuna esposizione mediante la seguente formula:

$$g_{f,esp} = \Sigma(g_{fi} * A_i) / \Sigma(A_{i,esp})$$

dove:

g_{fi} = trasmittanza solare effettiva del pacchetto finestra/schermo i-esimo

A_i = area della superficie lorda della finestra i-esima

$A_{i, esp}$ = superficie lorda totale dell'esposizione considerata

Ricavo:

- $g_{f, esp, Nord} = 0,53$
- $g_{f, esp, Sud} = 0,45$
- $g_{f, esp, Ovest} = 0,3953$

7. Calcolare la trasmittanza solare totale effettiva dell'edificio (g_r) come media dei valori calcolati per i diversi orientamenti, pesata sulle esposizioni, mediante la seguente formula:

$$g_r = \frac{\sum(g_{f, esp} * peso_{esp} * A_i)}{\sum(A_i * peso_{esp})}$$

dove:

$g_{f, esp}$ = trasmittanza solare effettiva per ciascuna esposizione

$peso_{esp}$ = peso attribuito a ciascuna esposizione

A_i = area totale delle finestre dell'esposizione i-esima

$$g_r = 0,44$$

Scala di Prestazione: **Tra Sufficiente e Buono**

Punteggio: **0,83**

B.6.5 Inerzia termica dell'edificio

Procedimento:

1. Calcolare la trasmittanza termica periodica per ciascun componente di involucro opaco verticale e orizzontale secondo il procedimento descritto nella norma UNI EN ISO 13786;

Nel caso di studio si è calcolato con Termus, ottenendo:

- Verticale: $Y_{iE,1} = 0,01 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Solaio di copertura: $Y_{iE,2} = 0,02 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Solaio di calpestio: $Y_{iE,3} = 0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$

2. Calcolare la trasmittanza termica periodica media di progetto degli elementi di involucro $Y_{iE,m}$ secondo la seguente formula:

$$Y_{iem} = \frac{\sum(A_i \cdot Y_{ij})}{A_{tot}}$$

dove:

A_i = area dell'elemento d'involucro i-esimo (m^2)

$Y_{iE,i}$ = trasmittanza termica periodica dell'elemento d'involucro i-esimo
(W/m^2K)

(B) $Y_{iem} = 0,063 W/m^2K$

3. Calcolare la trasmittanza termica periodica corrispondente ai valori limite di legge per ciascun componente di involucro opaco verticale e orizzontale da D.P.R 59/09;
4. Calcolare la trasmittanza termica periodica media degli elementi di involucro corrispondente ai valori limite di legge: (A) $Y_{iE,m,lim} = 0,234 W/m^2K$
5. Calcolare il rapporto percentuale tra la trasmittanza termica periodica media degli elementi di involucro e la trasmittanza termica periodica media degli elementi di involucro corrispondente ai valori limite di legge.

Indicatore = **26,9 %**

Scala di Prestazione: **Quasi ottimo**

Punteggio: **4,87**

C.3.2 Rifiuti solidi prodotti in fase operativa

E' un criterio di tipo qualitativo e si sceglie tra gli scenari proposti quello che descrive meglio l'oggetto in esame.

Ipotizzo quello più idoneo: "Presenza di aree per la raccolta differenziata dei rifiuti all'interno del lotto di intervento di dimensioni adatte ad ospitare un numero di contenitori consono alle dimensioni dell'intervento e dei suoi abitanti"

Scala di Prestazione: **Sufficiente**

Punteggio: **0**

C.4.1 Acque grigie inviate in fognatura

Procedimento:

1. Calcolare il volume standard di acque grigie potenzialmente immesse in fognatura (A), corrispondente al refluo prodotto dagli usi indoor esclusi i wc.
Cioè il volume di acque grigie potenzialmente immesso in fognatura Eff_{indoor} , considerando il volume base eff_i pari al 75% del fabbisogno idrico di riferimento (90 litri a persona al giorno):

$$Eff_{\text{indoor}} = \frac{ab \cdot n_{gg} \cdot eff_i}{1000}$$

Dove:

Eff_{indoor} = volume base complessivo di effluenti prodotti all'anno [m^3];

ab = numero di abitanti;

n_{gg} = numero di giorni nel periodo di calcolo = 365 gg;

eff_i = volume base di effluenti prodotti al giorno (pari a $0,75 \cdot 90$)

Si trova che $Eff_{\text{indoor}} = 49,775 m^3$

2. Calcolare il volume effettivo di acque reflue immesse in fognatura (B), considerando il risparmio di produzione di acque grigie dovuto all'uso di strategie tecnologiche per la riduzione dei consumi, come aeratori per i rubinetti, cassette di cacciata a doppio tasto, etc.

Calcolare il volume di acqua grigia non prodotto grazie all'uso di specifiche strategie tecnologiche di ottimizzazione dei consumi:

$$W_i = \frac{ab \cdot n_{gg} \cdot \sum \beta \cdot Eff}{1000}$$

Dove:

W_i = volume di acqua grigia risparmiata all'anno [m^3];

ab = numero di abitanti;

n_{gg} = numero di giorni nel periodo di calcolo = 365 gg;

eff_i = volume di effluenti prodotti al giorno per destinazione d'uso, [m^3/p gg];

β_i = coefficiente di riduzione dovuto a sistemi di riduzione dei consumi, [-];

$\beta_i = 1$ se non sono previsti sistemi di riduzione dei consumi.

$\beta_i = 0,5$ valore considerato

Tipologia di attività domestica	Percentuale di eff_i	β_i	Risparmio
Usi alimentari	4%	-	0
Lavaggio biancheria	25%	-	0
Lavaggio stoviglie	4%	10%	2,43
Lavaggio casa (altro)	6%	10%	3,64
Lavaggio personale (escluso bagno)	11%	10%	6,68
Bagno, doccia	25%	7%	15,69
Totale			28,45

$$W_i = 20,77 \text{ m}^3$$

3. L'indicatore sarà: $(W_i/E_t) \times 100 = 41,73\%$

Scala di Prestazione: **Tra Sufficiente e Buono**

Punteggio: **2,09**

C.4.2 Acque meteoriche captate e stoccate

Il progetto non prevede alcun recupero delle acque meteoriche

C.4.3 Permeabilità del suolo

Per il calcolo dell'indicatore di prestazione e relativo punteggio, si proceda come segue:

1. Calcolare l'area complessiva delle superfici esterne di pertinenza dell'edificio, ovvero l'area del lotto al netto dell'impronta dell'edificio ($A = 172,96 \text{ m}^2$);
2. Calcolare l'estensione di ciascuna tipologia di sistemazione esterna:
 - Giardino (piena terra): $B_1 = 165,46 \text{ m}^2$
 - Stradina (materiale sciolto) $B_2 = 7,5 \text{ m}^2$
3. Sommare tutte le aree (B_1 e B_2) ciascuna moltiplicata per il proprio coefficiente di permeabilità, ottenendo l'estensione complessiva della superficie esterna permeabile ($B = 172,21 \text{ m}^2$)
4. Calcolare la seguente percentuale: $(B/A) \times 100 = 99,57 \%$

Scala di Prestazione: **Quasi Ottimo**

Punteggio: **4,98**

C.6.8 Effetto isole di calore: copertura

1. Per il calcolo dell'indicatore di prestazione e relativo punteggio, si proceda come segue:

Calcolare l'area complessiva delle coperture secondo l'effettivo sviluppo ($A = 91,54 \text{ m}^2$)

- Individuare l'estensione di ciascuna delle superfici di copertura S_{ri} , a seconda del materiale utilizzato e della geometria (se superficie di copertura inclinata o orizzontale);
 - Pannello fotovoltaico: $S_{r1} = 39,68 \text{ m}^2$
 - Intonaco chiaro: $S_{r2} = 51,85 \text{ m}^2$
- Sommare le estensioni di ciascuna delle superfici di copertura.

2. Calcolare l'area complessiva delle coperture in grado di diminuire l'effetto "isola di calore" ($B = 51,85 \text{ m}^2$)
3. Calcolare il rapporto percentuale tra l'area delle coperture in grado di diminuire l'effetto "isola di calore" e l'area totale delle coperture:
 $(B/A \times 100) = 56,65\%$

Scala di Prestazione: **Tra Sufficiente e Buono**

Punteggio: **2,83**

C.6.9 Effetto isole di calore: aree esterne.

Considerando che esternamente sono presenti solo superfici che contribuiscono a diminuire l'effetto "isola di calore", considero il punteggio massimo.

Scala di Prestazione: **Ottimo**

Punteggio: **5**

C.6.10 Effetto isole di calore: ombreggiamento superfici esterne.

Dato che all'interno del lotto di intervento non vi sono sistemi di schermatura solare in grado di creare degli ombreggiamenti sulle superfici esterne, è dunque possibile disattivare il criterio escludendolo dalla valutazione.

D.2.5 Ventilazione e qualità dell'aria

E' un criterio di tipo qualitativo e si sceglie tra gli scenari proposti quello che descrive meglio l'oggetto in esame.

Ipotizzando l'uso di VMC (Ventilazione meccanica controllata) e dai serramenti, quello più idoneo è: "I ricambi d'aria sono garantiti, nella maggior parte degli ambienti principali, dall'apertura di due o più serramenti e da griglie di aerazione con attivazione automatica e da una ventilazione meccanica controllata che integra automaticamente la ventilazione naturale qualora essa non sia sufficiente (Ventilazione Ibrida)."

Scala di Prestazione: **Ottimo**

Punteggio: **5**

D.4.1 Illuminazione naturale

Procedimento:

1. Calcolare, per ciascuna esposizione verticale, i fattori di ombreggiamento medi delle finestre (F_{ov} , F_{fin} , F_{hor}) della stagione di raffrescamento (cioè il periodo dell'anno solare compreso tra 01/06 e il 30/09) per le esposizioni verticali come descritto nella serie UNI TS 11300; I fattori di ombreggiamento vanno scelti in relazione alla latitudine, all'esposizione di ciascuna superficie e all'angolo azimutale (α) che formano gli assi principali dell'edificio con l'asse NORD- SUD, misurato in senso orario (in questo caso considero la direzione EST)
In questo caso l'unica ombreggiatura è data dall'aggetto per le due finestre a Sud e la porta finestra a Ovest:

- $F_{hor,Sud} = 0,79$
- $F_{hor,Ovest} = 0,59$

2. Calcolare, per ogni finestra, il fattore di luce diurna in assenza di schermatura mobile e considerando gli ombreggiamenti fissi, per ciascun tipo di vetro e di locale, secondo la procedura descritta nell'allegato C della norma UNI EN 15193. La seguente procedura si applica per ogni ambiente dell'edificio illuminato naturalmente.

Definisco come:

- Finestra in camera da letto a Nord = 1
- Finestra in Cucina a Nord = 2
- Finestra in camera da letto a Sud = 3
- Finestra in Cucina a Nord = 4
- Porta finestra d'ingresso = 5

Calcolare il fattore di luce diurna relativo alla geometria della finestra secondo la formula semplificata seguente: $D_c = (0.73 + 20 * I_T) * I_O$

dove:

I_T = indice di trasparenza dell'ambiente con caratteristiche illuminotecniche omogenee calcolato secondo la seguente formula: $I_T = A_{w,tot} / A_D$

dove:

$A_{w,tot}$ = superficie totale delle finestre (vetro+telaio)

A_D = superficie del locale con caratteristiche illuminotecniche omogenee

I_O = indice di ostruzione medio dell'ambiente calcolato secondo la seguente formula:

$$I_o = \frac{\sum(F_{or\ j} \cdot F_{ov\ j} \cdot F_{fin\ j} \cdot \tau_{D65} \cdot A_{w\ i})}{\sum A_{w\ i}}$$

dove:

$F_{hor,i}$, $F_{ov,i}$, $F_{fin,i}$ = fattori di ostruzione della finestra i-esima [-];

τ_{D65} : fattore di trasmissione luminosa delle eventuali superfici a doppia pelle (se non sono presenti si considera =1);

$A_{w,i}$ = superficie della finestra i-esima presente nell'ambiente [m²].

Calcolare il fattore di luce diurna dell'ambiente secondo la formula semplificata seguente: $D = 0.576 \cdot D_C \cdot \tau_{D65}$

dove:

τ_{D65} : fattore di trasmissione luminosa della superficie vetrata

D_C : fattore di luce diurna per i generici vani finestra calcolato precedentemente.

Finestra	I_T	I_o	D_C	D
1	0,164	0,895	3,59	1,61
2	0,164	0,74	2,96	1,33
3	0,164	0,895	3,59	1,61
4	0,102	0,74	2,046	0,92
5	0,215	0,74	3,71	1,67

3. Calcolare il fattore medio di luce diurna dell'edificio eseguendo la media dei fattori calcolati per ciascun locale pesata sulla superficie dei locali stessi

$$\text{Indicatore} = \frac{\sum(D_j \cdot A_i)}{\sum A_i}$$

dove:

D_i = fattore di luce diurna del locale i-esimo [%];

A_i = superficie netta di pavimento del locale i-esimo [m²]

Indicatore = 3,6

Scala di Prestazione: **Ottimo**

Punteggio: **5**

D.6.1 Campi magnetici a frequenza industriale (50 Hertz)

Non essendo adiacente a significative sorgenti di campo magnetico a frequenza industriale, considero lo scenario con punteggio massimo.

Scala di Prestazione: **Ottimo**

Punteggio: **5**

E.1.9 Integrazione sistemi

E' un criterio di tipo qualitativo e si sceglie tra gli scenari proposti quello che descrive meglio l'oggetto in esame.

Ipotizzo "Anti intrusione: sistema digitale/elettronico di controllo accessi pedonali/carrai.

Safety: sistema di rilevazione fumi e gas. Sistemi automatici per il controllo delle condizioni di comfort termico e visivo"

Scala di Prestazione: **Ottimo**

Punteggio: **5**

E.2.4 Qualità del sistema di cablatura

E' un criterio di tipo qualitativo e si sceglie tra gli scenari proposti quello che descrive meglio l'oggetto in esame.

Ipotizzo "Predisposizione per adeguato cablaggio strutturato nelle parti comuni e negli alloggi."

Scala di Prestazione: **Ottimo**

Punteggio: **5**

E.6.1 Mantenimento delle prestazioni dell'involucro edilizio

Non è presente condensa interstiziale.

Scala di Prestazione: **Ottimo**

Punteggio: **5**

E.6.5 Disponibilità della documentazione tecnica

E' un criterio di tipo qualitativo e si sceglie tra gli scenari proposti quello che descrive meglio l'oggetto in esame.

Ipotizzo: "Documenti tecnici archiviati: relazione generale, relazioni specialistiche, elaborati grafici edificio "come costruito", piani di manutenzione, documentazione fase realizzativa dell'edificio."

Scala di Prestazione: **Ottimo**

Punteggio: **5**