

**POLITECNICO DI MILANO  
FACOLTA' DI ARCHITETTURA E SOCIETA'  
MILANO LEONARDO**

**Corso di Laurea Specialistica in Architettura**



**“COLTIVARE” L’ARCHITETTURA SOSTENIBILE**  
**TECNICHE COSTRUTTIVE E ABACHI DELLE STRATIGRAFIE CON L’IMPIEGO DEL**  
**CALCECANAPULO**

**Relatore: Arch. Sergio SABBADINI**

**Tesi di Laurea Specialistica di:**

**Lisa Ponzoni**

**n° matr. 752103**

**Yaara Sorek**

**n° matr. 751393**

**Anno Accademico 2011/2012**



## ABSTRACT

---

---

Messo a punto da pochi anni per il settore edilizio, sia per l'ambito della riqualificazione del patrimonio esistente che della nuova costruzione, il *calcecanapulo*<sup>1</sup> sembra avere grandi prospettive di sviluppo nella progettazione e costruzione sostenibile. Tale materiale nasce dalla proficua combinazione tra le proprietà del canapulo, parte legnosa della pianta della canapa, e la calce. La miscelazione a freddo, di tali componenti, con acqua, porta a un materiale edile con molteplici benefici ecologici e termici. L'impiego di un materiale vegetale, proveniente da una coltura a crescita veloce, quale la canapa, e di un legante a ciclo chiuso, quale la calce, gli conferisce inoltre il pregio di un bilancio ecologico molto vantaggioso. Impiegabile nella realizzazione di diversi elementi costruttivi, il calcecanapulo ha riscontrato l'interesse dei soggetti del settore dell'architettura sostenibile in diversi paesi europei, tra i quali in particolare la Francia, l'Inghilterra e il Belgio, dove sono stati elaborati diversi metodi applicativi del materiale e dove sono attualmente in atto molteplici ricerche volte al riconoscimento delle sue potenzialità.

Questo lavoro nasce con lo scopo di fornire uno strumento completo di partenza per l'ulteriore sviluppo di ricerche su questo tema e indaga in particolare le possibilità di sviluppo del calcecanapulo nel settore bioedile italiano in riferimento alle normative vigenti. Consiste in una panoramica delle esperienze estere e delle prime esperienze italiane di impiego del materiale, elaborate in una catalogazione di tutte le sue tecniche costruttive ad oggi sviluppate, per quanto riguarda le loro effettive fasi di realizzazione, i loro sviluppi e il riconoscimento dei loro limiti.

In secondo luogo viene elaborato un ampio spettro di possibili stratigrafie dell'involucro e delle partizioni dell'edificio realizzati con calcecanapulo. Da questo studio emergono le criticità e la fattibilità relative al raggiungimento di buone prestazioni termiche con l'impiego del calcecanapulo in riferimento ai requisiti normativi italiani.

Infine gli studi effettuati vengono applicati in una esercitazione progettuale in cui vengono sviluppati i nodi costruttivi, tema sul quale il presente studio andrebbe proseguito ed approfondito con ulteriori ricerche sistematizzate in abachi costruttivi.

---

<sup>1</sup> Nome coniato dall'arch. S. Sabbadini; viene chiamato anche *Béton de chanvre* (Francia), *Hempcrete* o *Hemp-Lime* (UK)



## MOTIVAZIONI E OBIETTIVI

---

---

L'argomentazione di base sulla quale si sviluppa qualsiasi ricerca e sviluppo in ambito di architettura sostenibile è la consapevolezza del fatto che nonostante la casa sia un bisogno primario per l'uomo, il costruire, paradossalmente, sia diventata l'attività umana responsabile del più alto impatto ambientale. I pericoli insiti nell'attuale modello produttivo del settore edilizio fanno scaturire la necessità di modificarne radicalmente gli indirizzi. In questo quadro un ruolo fondamentale è svolto dalla qualificazione professionale e dalla consapevolezza ecologica dei progettisti e degli operatori del ciclo edilizio. Non meno rilevante è la sensibilizzazione degli utenti stessi, verso un avvicinamento e una conoscenza della composizione e del comportamento degli ambienti nei quali trascorrono la maggior parte della loro vita, ovvero i manufatti edilizi. Su queste basi si articolano i diversi rami della Bioarchitettura nel tentativo di esplicitare la volontà di rendere l'Architettura una disciplina volta a creare dei luoghi che sappiano rapportarsi in modo equilibrato con l'ambiente in cui si inseriscono e che necessariamente trasformano.

Molto delicata è però l'interconnessione tra tutti i fattori che giocano un ruolo nella messa in pratica di tale proposito. Uno degli aspetti è quello del fabbisogno energetico degli edifici. A tale riguardo la normativa italiana riconosce una posizione di rilievo al tema dell'isolamento delle stratigrafie dell'involucro edilizio. Grande attenzione è dunque volta ai valori di trasmittanza termica dei singoli pacchetti costruttivi e alla loro capacità "ermetica" di preservare le temperature dell'ambiente interno. Minore attenzione è però volta ai metodi e ai materiali utilizzati per il raggiungimento di tali obiettivi di trasmittanza termica e alla capacità dei materiali impiegati a interagire con l'ambiente. Risulta infatti contraddittoria la situazione attuale di dominanza da parte dei materiali sintetici nel mercato dei materiali isolanti. Laddove lo scopo finale è quello di ridurre gli impatti ambientali del settore costruttivo, gli isolanti derivati da combustibili fossili, hanno spesso alti impatti di produzione e complesse modalità di smaltimento. Inoltre la salubrità di diversi di questi materiali è messa fortemente in discussione. Da queste premesse si è sviluppata la gamma oramai vasta di materiali isolanti naturali per l'edilizia e in particolare è stata riconosciuta l'idoneità dei materiali di origine vegetale a svolgere la funzione isolante. Essi hanno la caratteristica di essere leggeri e preservano alcune proprietà delle piante quali quella di sequestrare carbonio e di "respirare", non ponendosi come barriera alle condizioni dell'ambiente che li circondano, ma essendo in grado di gestirle.

Tra tali materiali, si trova la canapa, pianta dalle notevoli proprietà e possibilità di impiego, stata per questo protagonista della tradizione agricola italiana fino alla prima metà del secolo scorso. Le sue potenzialità, anche nell'ottica di un suo legame con la sua tradizione italiana, sono state individuate da molti soggetti attivi nella direzione dello sviluppo sostenibile e sono state oggetto di diversi studi. In particolare per il suo impiego in edilizia è stato indagato, con esiti molto positivi, il suo impatto ambientale durante il suo intero ciclo di vita, con la metodologia LCA. Sulle basi di questa analisi e di altri studi che hanno confermato la capacità della canapa, e in particolare della sua parte legnosa di assorbire e rilasciare l'umidità presente nell'ambiente, nonché di assorbire CO<sub>2</sub>, si fonda l'idea che la canapa possa essere un materiale molto vantaggioso per l'edilizia.

La sua recente combinazione con la calce, materiale con proprietà complementari ad essa, di solidità e rigidità, ha dato vita al calcecanapulo, un materiale innovativo per l'edilizia con grandi possibilità di sviluppo.

Questo materiale, preparato in cantiere, tramite la miscelazione dei due ingredienti, viene impiegato in abbinamento con strutture in legno. Costruire con il calcecanapulo comporterebbe quindi anche l'impiego di un materiale strutturale naturale ed ecologico, con comportamento antisismico notevole. All'indomani dei forti danni provocati dai sismi avvenuti in centro Italia, l'impiego di un materiale con bassa densità, capace di minimizzare le sue deformazioni dovute alle accelerazioni delle scosse sismiche, quale il legno, in alternativa a materiali strutturali convenzionali, caratterizzati da pesantezza, rigidità e impronta ecologica indubbiamente maggiore, non è un aspetto di secondaria importanza.

Il presente lavoro si inserisce in un vivo contesto di reti di ricerca e collaborazione per lo sviluppo dei materiali naturali in edilizia e si pone l'obiettivo di interagire con tali centri, associazioni e progetti, italiani ed internazionali, per l'ottenimento e lo scambio di informazioni riguardo alle caratteristiche e alle possibilità ad oggi individuate del materiale oggetto di studio.

Ci si pone l'obiettivo di raccogliere e mettere a confronto in un unico testo le informazioni e i risultati ottenuti dagli elaborati di diversi centri di ricerca esteri riguardo alle potenzialità del calcecanapulo ad oggi verificate. Questa raccolta ordinata è volta sia all'individuazione delle lacune e dei limiti degli studi ad oggi effettuati che alla formazione di un documento che possa essere uno strumento per la progettazione con questo materiale, focalizzando sulle sue possibilità di sviluppo in Italia.

Si intende produrre una catalogazione delle tecniche costruttive in calcecanapulo con un duplice scopo: il primo è evidenziarne le molteplici possibilità di applicazione e il secondo, di carattere metodologico, è di fornire una base di conoscenza, ordinata e il più possibile dettagliata, dei diversi metodi costruttivi ad oggi utilizzati sia all'estero che in Italia, studiandone le diverse fasi, per incrementare l'interesse verso l'impiego del calcecanapulo nella costruzione e contribuire alla disponibilità di informazioni riguardo alla sua preparazione e messa in opera.

Per dare una risposta pratica alla possibilità di impiego del calcecanapulo in Italia il presente lavoro si pone l'obiettivo di creare un ampio spettro delle stratigrafie realizzabili con il calcecanapulo rientranti nei requisiti energetici italiani.

Tale lavoro vuole essere uno strumento di partenza per uno sviluppo futuro della ricerca e della sperimentazione riguardo alla progettazione con questo materiale.

Verrà perciò dedicato maggiore spazio all'elaborazione dei pacchetti costruttivi piuttosto che all'applicazione progettuale. Quest'ultima verrà introdotta tramite l'ideazione di un fabbricato di piccole dimensioni e minima articolazione per mostrare le applicazioni basilari del calcecanapulo all'interno di una nuova costruzione inserita in un contesto di recupero del patrimonio esistente, quale il villaggio

Ecologico di Granara.

Ulteriore obiettivo è quello di verificare alcune delle caratteristiche della costruzione con il calcecapulo tramite una diretta osservazione dei cantieri in cui esso viene impiegato, e laddove possibile, mediante una sperimentazione personale della messa in opera di alcune delle sue tecniche.





## INDICE

<b>1. La canapa</b> .....	<b>1</b>
1.1 La pianta della canapa.....	1
1.2 Lo sviluppo e la crisi della canapicoltura in Italia .....	2
1.3 La coltivazione attuale della canapa in Italia.....	4
1.4 La normativa di riferimento .....	7
1.4.1 Normativa europea di riferimento.....	7
1.4.2 Normativa italiana di riferimento .....	7
1.5 Gli svariati usi e prodotti della canapa .....	8
1.6 Il contributo della canapa all'edilizia .....	8
1.6.1 Prodotti di semi.....	11
1.6.1.1 Olio di finitura e verniciatura per il legno .....	11
1.6.2 Prodotti di fibra.....	11
1.6.2.1 Geotessile in fibra di canapa.....	11
1.6.2.2 Tappeti isolanti in fibra di canapa.....	12
1.6.2.3 Materassini isolanti in fibra di canapa .....	12
1.6.2.4 Pannelli semirigidi in fibra di canapa .....	14
1.6.3 Prodotti di fibra e canapulo .....	15
1.6.3.1 Materassi isolanti in canapulo e fibra.....	15
1.6.3.2 Impasti di calce, canapulo e fibra .....	16
1.6.4 Prodotti di canapulo.....	16
1.6.4.1 Canapulo sfuso.....	16
1.6.4.2 Calcecanapulo .....	18
1.7 Le associazioni promotrici del ritorno della canapa in Italia.....	18
<b>2. Il calcecanapulo - un nuovo materiale naturale per l'edilizia .....</b>	<b>21</b>
2.1 Definizione e diffusione.....	21
2.2 Materie prime .....	23
2.2.1 Il canapulo .....	23
2.2.1.1 La lavorazione .....	24
2.2.1.1.1 Taglio .....	25
2.2.1.1.2 Macerazione .....	26
2.2.1.1.3 Andanatura e rotoimballatura.....	26
2.2.1.1.4 Separazione .....	26
2.2.1.1.5 L'impianto di prima trasformazione .....	27
2.2.1.1.6 Trinciatura.....	28
2.2.2 La calce .....	28
2.2.2.1 La produzione .....	28
2.2.2.2 La gamma delle calci .....	29
2.2.2.3 Energia incorporata ed emissioni di CO2.....	30
2.3 La costruzione in legno.....	31
2.3.1 Diffusione in Italia .....	31
2.3.2 La normativa .....	32
2.3.3 Sistemi costruttivi in legno.....	34

2.4 La miscela .....	37
2.5 Le proprietà della miscela di calcecanapulo .....	38
2.5.1 Traspirabilità e salubrità degli edifici .....	38
2.5.2 La proprietà protettiva dal degrado del legno .....	39
2.5.3 Proprietà termiche .....	40
2.5.3.1 La conduttività e la trasmittanza .....	40
2.5.3.2 Tenuta d'aria .....	41
2.5.3.3 Inerzia termica .....	41
2.5.4 Proprietà acustiche .....	42
2.5.4.1 Potere fonoisolante .....	42
2.5.4.2 Assorbimento acustico.....	44
2.5.5 Resistenza al fuoco.....	44
2.6 L'impatto ambientale del calcecanapulo .....	44
2.7 I soggetti e le associazioni promotori del calcecanapulo.....	47
<b>3. Costruzione con il calcecanapulo .....</b>	<b>51</b>
3.1 Messa in opera .....	51
3.1.2 Sistema strutturale.....	52
3.1.2.1 Sistema ad ossatura portante .....	53
3.1.2.2 Sistema a traliccio .....	53
3.1.2.3 Sistema ad intelaiatura .....	53
3.1.2.4 Struttura del sistema con blocchi pieni .....	56
3.1.2.5 Struttura del sistema con blocchi forati .....	56
3.1.2.6 Distanza dal terreno.....	56
3.1.2.7 Normativa .....	59
3.2.2 I sistemi di cassetatura.....	59
3.2.3 I casseri a perdere .....	59
3.3.4 La formazione degli operatori.....	61
3.3.5 La sicurezza .....	63
3.2 Le fasi della messa in opera del calcecanapulo.....	64
3.2.1 Organizzazione e preparazione del cantiere.....	64
3.2.2 Montaggio dei casseri e dei sistemi di ancoraggio .....	64
3.2.3 Installazione degli impianti .....	65
3.2.4 Preparazione della miscela .....	67
3.2.4.1 I dosaggi .....	67
3.2.4.2 I macchinari.....	68
3.2.4.2.1 La macchina a spruzzo .....	70
3.2.4.2.2 I miscelatori .....	70
3.2.4.3 Le procedure di miscelazione .....	72
3.2.5 Applicazione .....	74
3.2.6 Asciugatura .....	75
3.2.7 Finiture e rivestimenti.....	76
3.3 Tecniche costruttive con il calcecanapulo.....	77
3.3.1 Preparazione in cantiere .....	79
3.3.1.1 Applicazione manuale.....	79
3.3.1.1.1 Riempimento di superficie orizzontale.....	82

3.3.1.1.2 Riempimento stratificato di superficie inclinata .....	84
3.3.1.1.3 Riempimento a cassettoni di superficie inclinata.....	86
3.3.1.1.4 Riempimento verticale tra pannelli.....	88
3.3.1.1.5 Massetto calpestabile ad applicazione manuale.....	90
3.3.1.1.6 Massetto isolante ad applicazione manuale .....	93
3.3.1.1.7 Muratura a getto .....	95
3.3.1.1.8 Controparete a getto.....	97
3.3.1.1.9 Intonaco di corpo ad applicazione manuale.....	100
3.3.1.1.10 Intonaco di corpo di C.Latouche.....	103
3.3.1.1.11 Intonaco di corpo di R.Junalik.....	106
3.3.1.1.12 Intonaco di finitura di C.Latouche .....	108
3.3.1.1.13 Intonaco di finitura di R.Junalik .....	110
3.3.1.2 Applicazione a spruzzo.....	112
3.3.1.2.1 Controparete a spruzzo .....	114
3.3.1.2.2 Muratura a spruzzo .....	116
3.3.1.2.3 Riempimento di superficie inclinata a spruzzo.....	118
3.3.1.2.4 Massetto calpestabile a spruzzo.....	120
3.3.2 Prefabbricazione .....	122
3.3.2.1 Blocchi.....	122
3.3.2.1.1 Sistema legno-blocco (tipo EasyChanvre) .....	125
3.3.2.1.2 Controparete in blocchi pieni .....	128
3.3.2.1.3 Muratura non portante in blocchi pieni .....	130
3.3.2.1.4 Massetto in blocchi pieni.....	132
3.3.2.1.5 Muratura portante in blocchi pieni .....	134
3.3.2.2 Pannelli strutturali .....	137
3.3.2.2.1 Pannelli strutturali tipo ModCell .....	137
<b>4. Abachi dei pacchetti costruttivi per la costruzione in calcecanapulo .....</b>	<b>141</b>
4.1 Considerazioni preliminari e obiettivi dello studio .....	141
4.2 Materiali ecologici per l'abbinamento con il calcecanapulo.....	142
4.2.1 Sistemi prefabbricati a telaio .....	143
4.2.1.1 Il sistema <i>Legnolego</i> .....	143
4.2.1.2 Il sistema <i>Xilema</i> .....	144
4.2.2 Pannelli rigidi.....	145
4.2.2.1 Pannelli di legnomagnesite <i>Eraclit</i> .....	145
4.2.2.2 Pannelli in gessofibra <i>Fermacell</i> .....	146
4.2.2.3 Pannelli magnesite <i>Megapan</i> .....	147
4.2.3 Pannelli e intonaci isolanti .....	148
4.2.3.1 Pannelli in fibra di legno e in fibra di canapa <i>Steico</i> .....	148
4.2.3.2 Il termointonaco di calce <i>Termotec</i> .....	149
4.2.4 Membrane impermeabili e carte antipolvere e antiventto .....	149
4.2.4.1 La membrana <i>Ecofi</i> .....	149
4.2.4.2 La carta Kraft.....	150
4.2.4.3 La carta Oleata .....	150
4.3 Lo schema generale degli abachi costruttivi .....	150
4.3.1 Tipi di intervento (primo livello) .....	150

4.3.2 Classi di unità tecnologiche (secondo livello) .....	151
4.3.3 Unità tecnologiche (terzo livello) .....	151
4.3.4 Tecnica costruttiva impiegata (quarto livello) .....	151
4.4 Schede delle stratigrafie costruttive .....	152
4.4.1 Nuova costruzione154 .....	154
4.4.1.1 Chiusura orizzontale inferiore154 .....	154
4.4.1.2 Chiusura verticale .....	164
4.4.1.3 Chiusura orizzontale superiore .....	177
4.4.1.4 Partizione interna orizzontale.....	189
4.4.1.5 Partizione interna verticale.....	203
4.4.2 Recupero .....	207
4.4.2.1 Chiusura verticale .....	207
4.4.2.2 Chiusura orizzontale superiore .....	220
4.4.2.3 Partizione interna orizzontale.....	227
<b>5. Applicazione progettuale .....</b>	<b>235</b>
5.1 Premessa .....	235
5.2 Il contesto .....	235
5.2.1 Contesto geografico .....	235
5.2.2 Ecovillaggio di Granara.....	236
5.3 L'approccio progettuale .....	238
5.4 Il progetto.....	240
5.5 Tavole di progetto .....	243
<b>Considerazioni conclusive.....</b>	<b>249</b>
<b>Allegato 1: Esperienze.....</b>	<b>251</b>
<b>Allegato 2 : Schede tecniche .....</b>	<b>269</b>
<b>Bibliografia .....</b>	<b>292</b>

**CAPITOLO 1**

Fig. 1.1 Zone climatiche adatte alla coltivazione della canapa nel mondo.....	2
Fig. 1.2 Cannabis sativa, disegno scientifico .....	2
Fig. 1.3 Cannabis sativa in sezione .....	3
Fig. 1.4 Varietà francese monoica .....	3
Fig. 1.5 Varietà Italiana dioica .....	3
Fig. 1.6 Lavorazione tradizionale: taglio.....	4
Fig. 1.7 Lavorazione tradizionale: raccolta in fasci.....	4
Fig. 1.8 Lavorazione tradizionale: macerazione in acqua.....	4
Fig. 1.9 Gli usi della canapa .....	9
Fig. 1.10 Usi della canapa per l'edilizia.....	10
Fig. 1.11 Olio di di canapa per finitura, Atelier du vieux pin .....	11
Fig. 1.12 Olio di di canapa di verniciatura, Finico.....	11
Fig. 1.13 Geotessile TechniFeutre della Technichanvre a .....	12
Fig. 1.14 Geotessile TechniFeutre della Technichanvre b.....	12
Fig. 1.15 Sottofondo prepavimento a secco .....	13
Fig. 1.16 Tappeto in fibra di canapa Technichanvre Hempfloor.....	13
Fig. 1.17 Taglio matterassini Technichnvre Hempwool .....	13
Fig. 1.18 Posa matterassini Technichnvre Hempwool .....	13
Fig. 1.19 Matterassini Technichnvre Hempwool a .....	13
Fig. 1.20 Matterassini Technichnvre Hempwool b.....	13
Fig. 1.21 Pannello semirigido Celenit LC/30.....	14
Fig. 1.22 Isolamento parete con pannello Canaton .....	14
Fig. 1.23 Materassi di diversi spessori Cormatex .....	15
Fig. 1.24 Materasso Cormatex .....	15
Fig. 1.25 Fibra grezza e canapulo, sistema costruttivo Casa Coltivata.....	17
Fig. 1.26 Struttura del solaio con con steli di canapa per il sistema Casa Coltivata.....	17
Fig. 1.27 Riempimento del solaio con canapulo ChanvriSol .....	17
Fig. 1.28 Riempimento del tetto con canapulo Canosmose .....	17
Fig. 1.29 Impasto di calcecanapulo pronto per la messa in opera.....	17
Fig. 1.30 Muro realizzato in calcecanapulo .....	17

**CAPITOLO 2**

Fig. 2.1 Il canapulo, l'interno legnoso dello stelo.....	22
Fig. 2.2 Il canapulo sfuso da Equilibrium Costruito .....	22
Fig. 2.3 Canapulo fine con lunghezza inferiore a 10 mm .....	23
Fig. 2.4 Canapulo medio con lunghezza tra i 10 e i 20 mm.....	23
Fig. 2.5 Canapulo grosso con lunghezza tra i 20 e i 30 mm.....	23
Fig. 2.6 Fasi di lavorazioni.....	26
Fig. 2.7 Operazioni di taglio sul campo .....	26
Fig. 2.8 Operazioni di rotoimballatura .....	26
Fig. 2.9 Impianto Assocanapa, modulo di alimentazione.....	27
Fig. 2.10 Impianto Assocanapa, modulo di separazione.....	27
Fig. 2.11 Impianto Assocanapa, modulo di pulizia .....	27
Fig. 2.12 Ciclo della calce.....	28
Fig. 2.13 Schema delle tpologie di calce.....	28
Fig. 2.14 The Lime Spectrum .....	29
Fig. 2.15 Costruzioni ad ossatura portante di legno in edilizia residenziale a .....	36
Fig. 2.16 Costruzioni ad ossatura portante di legno in edilizia residenziale b .....	36

Fig. 2.17 Costruzioni a traliccio di legno in edilizia residenziale a.....	36
Fig. 2.18 Costruzioni a traliccio di legno in edilizia residenziale b .....	36
Fig. 2.19 Costruzioni ad intelaiatura in edilizia residenziale a.....	36
Fig. 2.20 Costruzioni ad intelaiatura in edilizia residenziale b .....	36
Fig. 2.21 Baloon Frame e Platorm Frame a .....	37
Fig. 2.22 Baloon Frame e Platorm Frame b.....	37
Fig. 2.23 Curva dell'umidità assorbita in una parete in calce.....	39
Fig. 2.24 Diagramma dello sfasamento termico Easychanvre .....	42
Fig. 2.25 I requisiti acustici per le abitazioni in Europa.....	43
Fig. 2.26 Contenuto di energia primaria PEI [MJ] del Biomatone .....	45
Fig. 2.27 Potenziale efeto serra GWP 100 [kg CO <sub>2</sub> - equivalent] del Biomatone .....	45

### CAPITOLO 3

Fig. 3.1 Struttura mista acciaio-legno usata per calcecanapulo a spruzzo.....	52
Fig. 3.2 Applicazione della struttura in legno .....	52
Fig. 3.3 Ossatura portante in legno, con orditura secondaria di montanti.....	54
Fig. 3.4 Getto tra montanti in sistemi di ossatura portante in legno.....	54
Fig. 3.5 Sistema ad ossatura portante centrale.....	54
Fig. 3.6 Sistema ad ossatura portante interno .....	54
Fig. 3.7 Tamponamenti di una vecchia struttura a traliccio.....	54
Fig. 3.8 Tamponamenti di una vecchia struttura a traliccio, finitura in calce .....	54
Fig. 3.9 Sistema ad intelaiatura pronto per lo spruzzo .....	55
Fig. 3.10 Struttura ad intelaiatura, controventatura con tiranti in acciaio .....	55
Fig. 3.11 Sistema ad intelaiatura interno .....	55
Fig. 3.12 Sistema ad intelaiatura esterno.....	55
Fig. 3.13 Clacecanapulo su sistema ad intelaiatura, controventatura con tiranti in acciaio .....	55
Fig. 3.14 Rivestimento in legno applicato a un muro di calcecanapulo, struttura esterna ..	55
Fig. 3.15 Sistema ad ossatura portante, interna rispetto alla muratura in blocchi .....	57
Fig. 3.16 Parete interna in blocchi, blocchi allineati alla struttura.....	57
Fig. 3.17 Sistema ad ossatura portante, interna rispetto alla muratura in blocchi .....	57
Fig. 3.18 Disposizione della struttura nel sistema con blocchi forati in calcecanapulo .....	57
Fig. 3.19 Struttura interna ai blocchi forati in calcecanapulo .....	57
Fig. 3.20 Distanza minima dal terreno di una parete in calcecanapulo .....	57
Fig. 3.21 Sistema di cassetatura .....	60
Fig. 3.22 Sistema di cassetatura per il telaio ligneo a filo esterno del getto .....	60
Fig. 3.23 Sistema di fissaggio della cassetatura al telaio con tubolari in legno .....	60
Fig. 3.24 Sistema di fissaggio della cassetatura al telaio ligneo centrale con viti .....	60
Fig. 3.25 Stuoie di arelle come casseti a perdere, Marc Desset.....	60
Fig. 3.26 Stuoie di arelle che funzionano anche come aggrappo per l'intonaco .....	60
Fig. 3.27 Dispositivi di Protezione Individuale a.....	63
Fig. 3.28 Dispositivi di Protezione Individuale b.....	63
Fig. 3.29 Posizionamento degli impianti elettrici a .....	66
Fig. 3.30 Posizionamento degli impianti elettrici b .....	66
Fig. 3.31 Posizionamento degli impianti elettrici c .....	66
Fig. 3.32 Scanalature nei blocchi pieni in calcecanapulo Chanvribloc a .....	66
Fig. 3.33 Scanalature nei blocchi pieni in calcecanapulo Chanvribloc b .....	66
Fig. 3.34 Scanalature nei blocchi pieni in calcecanapulo Chanvribloc c.....	66
Fig. 3.35 Impianti sul solaio controterra in massiciata in ghiaia a.....	66
Fig. 3.36 Impianti sul solaio controterra in massiciata in ghiaia b.....	66
Fig. 3.37 Impianti sull'assito in legno di un solaio interpiano a .....	66
Fig. 3.38 Impianti sull'assito in legno di un solaio interpiano b .....	66
Fig. 3.39 Impianto di riscaldamento a pavimento sul massetto in calcecanapulo.....	67

Fig. 3.40 Copertura dell'impianto a pavimento con massetto in calce e sabbia .....	67
Fig. 3.41 Differenti tipologie di calce: premiscelata, idrata, idraulica naturale a .....	69
Fig. 3.42 Differenti tipologie di calce: premiscelata, idrata, idraulica naturale b .....	69
Fig. 3.43 Differenti tipologie di calce: premiscelata, idrata, idraulica naturale c.....	69
Fig. 3.44 Differenti tipologie di calce: premiscelata, idrata, idraulica naturale d .....	69
Fig. 3.45 Canapulo medio Chanvribat, in sacchi compressi .....	69
Fig. 3.46 Calce premiscelata Equilibrium .....	69
Fig. 3.47 Canapulo medio, Chenevotte .....	69
Fig. 3.48 Canapulo medio, Canabrium, Assocanapa .....	69
Fig. 3.49 Macchina insufflatrice, prove insufflaggio di canapulo a .....	71
Fig. 3.50 Macchina insufflatrice, prove insufflaggio di canapulo b .....	71
Fig. 3.51 Macchina a spruzzo di Batiethic .....	71
Fig. 3.52 Spruzzo con la macchina di Batiethic.....	71
Fig. 3.53 Adattamento della macchina Euromair, moduli di alimentazione.....	71
Fig. 3.54 Prova di spruzzo contro un supporto con la macchina Euromair.....	71
Fig. 3.55 Miscelatore a vite senza fine da cantiere a .....	73
Fig. 3.56 Miscelatore a vite senza fine da cantiere b .....	73
Fig. 3.57 Miscelatore a vite senza fine da cantiere c.....	73
Fig. 3.58 Bicchiere del miscelatore ad asse planetario .....	73
Fig. 3.59 Impasto per il massetto calpestabile, miscelatore ad asse planetario.....	73
Fig. 3.60 Miscelazione con betoniera classica a.....	73
Fig. 3.61 Miscelazione con betoniera classica b.....	73
Fig. 3.62 Dosaggi di canapulo, calce ed acqua, pronti per la preparazione .....	74
Fig. 3.63 Consistenza errata, formazione di pallottole .....	74
Fig. 3.64 Consistenza corretta .....	74
Fig. 3.65 Rivestimento in legno su muratura in getto in calcecanapulo .....	76
Fig. 3.66 Schema tecniche costruttive in calcecanapulo.....	78
Fig. 3.67 Schema preparazione in cantiere .....	80
Fig. 3.68 Schema applicazione manuale .....	81
Fig. 3.69 Riempimento manuale del solaio con calcecanapulo .....	82
Fig. 3.70 Getto dell'impasto .....	83
Fig. 3.71 Livellamento .....	83
Fig. 3.72 Leggera compattazione.....	83
Fig. 3.73 Risultato finale .....	83
Fig. 3.74 Riempimento del solaio con strati alternati di canapulo e latte di calce .....	84
Fig. 3.75 Preparazione della boiaccia di calce .....	85
Fig. 3.76 Distribuzione del canapulo sfuso .....	85
Fig. 3.77 Livellamento in strati di 5 cm.....	85
Fig. 3.78 Leggera compattazione .....	85
Fig. 3.79 Applicazione della boiaccia di calce .....	85
Fig. 3.80 Riempimento a cassettoni .....	86
Fig. 3.81 Riempimento in calcecanapulo con doppia orditura di listelli in legno .....	87
Fig. 3.83 Applicazione del calcecanapulo alla struttura a cassettoni.....	87
Fig. 3.84 Applicazione della struttura a cassettoni .....	87
Fig. 3.85 Riempimento fra pannelli .....	88
Fig. 3.86 Trasporto al punto di applicazione tramite big bag da 2,5 m <sup>3</sup> .....	89
Fig. 3.87 Costruzione del telaio metallico .....	89
Fig. 3.88 Applicazione dei pannelli .....	89
Fig. 3.89 Getto tra i pannelli .....	89
Fig. 3.90 Massetto calpestabile in calcecanapulo .....	90
Fig. 3.91 Trasporto a carriola.....	92

Fig. 3.92 Stesura del massetto .....	92
Fig. 3.93 Livellamento del massetto.....	92
Fig. 3.94 Posa impianto di riscaldamento .....	92
Fig. 3.95 Posa del massetto in calce e sabbia.....	92
Fig. 3.96 Posa delle piastrelle .....	92
Fig. 3.97 Massetto isolante in calcecanapulo.....	93
Fig. 3.98 Trasporto dell'impasto al punto di applicazione .....	94
Fig. 3.99 Applicazione del massetto isolante sul solaio.....	94
Fig. 3.100 Massetto isolante del sottotetto .....	94
Fig. 3.101 Massetto isolante del sottotetto.....	94
Fig. 3.102 Compattazione di muratura in calcecanapulo .....	95
Fig. 3.103 Casseri.....	96
Fig. 3.104 Distanziatori tubolari .....	96
Fig. 3.105 Getto manuale .....	96
Fig. 3.106 Compattazione.....	96
Fig. 3.107 Rimozione dei casseri .....	96
Fig. 3.108 muratura in calcecanapulo .....	96
Fig. 3.109 Controparete interna.....	97
Fig. 3.110 Sistema di ancoraggio con tasselli .....	99
Fig. 3.111 Sistema di ancoraggio in legno .....	99
Fig. 3.112 Getto manuale della controparete.....	99
Fig. 3.113 Getto manuale della controparete.....	99
Fig. 3.114 Controparete con sistema di ancoraggio in legno .....	99
Fig. 3.115 Controparete sistema di ancoraggio a tasselli.....	99
Fig. 3.116 Applicazione manuale di intonaco isolante.....	100
Fig. 3.117 Protezione dell'assito in legno.....	102
Fig. 3.118 Bagnatura della parete .....	102
Fig. 3.119 Applicazione del rinzafo .....	102
Fig. 3.120 Posa dell'arriccio .....	102
Fig. 3.121 I tre strati dell'intonaco di corpo in calcecanapulo .....	102
Fig. 3.122 Getto manuale dell'intonaco isolante .....	103
Fig. 3.123 Canapulo molto fibroso .....	105
Fig. 3.124 Posizionamento di listelli e casseri .....	105
Fig. 3.125 Applicazione del getto nei casseri .....	105
Fig. 3.126 Applicazione dell'impasto nei casseri .....	105
Fig. 3.127 Intonaco isolante una volta scassato .....	105
Fig. 3.128 Completamento a mano della fascia superiore della parete .....	105
Fig. 3.129 Applicazione manuale dell'intonaco di corpo.....	106
Fig. 3.130 Fissaggio dei listelli .....	107
Fig. 3.131 Bagnatura a completo imbevimento della parete.....	107
Fig. 3.132 Posa del copro d'intonaco .....	107
Fig. 3.133 Livellamento con la staggia.....	107
Fig. 3.134 Applicazione di intonaco di finitura .....	108
Fig. 3.135 L'impasto realizzato da C.Latouche è cremoso e bianco.....	109
Fig. 3.136 Applicazione dell'intonaco di finitura .....	109
Fig. 3.137 Applicazione dell'intonaco di finitura colorato con diversi pigmenti naturali ...	109
Fig. 3.138 Effetto finale .....	109
Fig. 3.139 Intonaco di finitura Fig. 3.140 Posa a due mani con il frattazzo americano.....	110
Fig. 3.140 Posa a due mani con il frattazzo americano .....	111
Fig. 3.141 Lavorazione lamata o con frattazzo a spugna .....	111
Fig. 3.142 Lamatura finale .....	111



Fig. 3.143 Colorazione in pasta .....	111
Fig. 3.144 Colorazione a fresco .....	111
Fig. 3.145 Schema applicazione a spruzzo .....	113
Fig. 3.146 Controparete a spruzzo .....	114
Fig. 3.147 Controparete interna in calcecanapulo a .....	115
Fig. 3.148 Controparete interna in calcecanapulo b .....	115
Fig. 3.149 Controparete esterna a spruzzo a .....	115
Fig. 3.150 Controparete esterna a spruzzo b .....	115
Fig. 3.151 Controparete interna a spruzzo con rasatura su muro in pietra a .....	115
Fig. 3.152 Controparete interna a spruzzo con rasatura su muro in pietra b .....	115
Fig. 3.153 Applicazione a spruzzo a .....	115
Fig. 3.154 Applicazione a spruzzo b .....	115
Fig. 3.155 Muratura a spruzzo .....	116
Fig. 3.156 Telaio in legno per nuova costruzione in calcecanapulo a spruzzo .....	117
Fig. 3.157 Montaggio del sistema di casseratura per spruzzo .....	117
Fig. 3.158 Applicazione del calcecanapulo a spruzzo su cassero .....	117
Fig. 3.159 Posa a spruzzo completata, 600 mq totali di calcecanapulo .....	117
Fig. 3.160 Rimozione del cellofan dietro al cassero .....	117
Fig. 3.161 Livellamento con una staggia .....	117
Fig. 3.162 Livellamento e raschiamento con un frattazzo a spugna .....	117
Fig. 3.163 Ristrutturazione struttura a traliccio con calcecanapulo a spruzzo .....	117
Fig. 3.164 Riempimento di superficie inclinata a spruzzo .....	118
Fig. 3.165 Struttura della copertura per spruzzo del calcecanapulo a .....	119
Fig. 3.166 Struttura della copertura per spruzzo del calcecanapulo b .....	119
Fig. 3.167 Isolamento della copertura realizzata con calcecanapulo a spruzzo .....	119
Fig. 3.168 Riempimento di copertura con calcecanapulo a spruzzo .....	119
Fig. 3.169 Massetto a spruzzo .....	120
Fig. 3.170 Spruzzo del massetto .....	121
Fig. 3.171 Livellamento del massetto applicato a spruzzo .....	121
Fig. 3.172 Applicazione dei listelli in legno .....	121
Fig. 3.173 Spruzzo del massetto in calcecanapulo tra listelli .....	121
Fig. 3.174 Massetto realizzato a spruzzo .....	121
Fig. 3.175 Schema prefabbricazione in calcecanapulo .....	123
Fig. 3.176 Schema preparazione del cantiere .....	124
Fig. 3.177 Sistema EsayChanvre .....	125
Fig. 3.178 Realizzazione del basamento .....	126
Fig. 3.179 Posa della prima fila di blocchi .....	126
Fig. 3.180 Posa dei montanti prefabbricati .....	126
Fig. 3.181 Sigillatura con latte di calce .....	126
Fig. 3.182 Posizionamento dell'architrave sopra l'apertura .....	126
Fig. 3.183 Blocco base, .....	126
Fig. 3.184 Blocco d'angolo .....	126
Fig. 3.185 Schema di posa dei blocchi .....	127
Fig. 3.186 Schema di posa dei montanti .....	127
Fig. 3.187 Schema di posa del solaio .....	127
Fig. 3.188 Schema di posa della copertura .....	127
Fig. 3.189 Controparete in blocchi Chanvribloc .....	128
Fig. 3.190 Rialzo in lamiera zincata .....	129
Fig. 3.191 Applicazione dello strato di malta per il fissaggio dei mattoni .....	129
Fig. 3.192 Capotto esterno in blocchi .....	129
Fig. 3.193 Staffa metallica di fissaggio dei blocchi alla parete .....	129

Fig. 3.194 Controparete interna in blocchi .....	129
Fig. 3.195 Riempimento dell'intercapedine tra muro e blocchi con canapulo sfuso.....	129
Fig. 3.196 Muratura in blocchi pieni in calcecanapulo.....	130
Fig. 3.197 Realizzazione del basamento.....	131
Fig. 3.198 Posa della prima fila di blocchi .....	131
Fig. 3.199 Aggancio alla struttura portante .....	131
Fig. 3.200 Verifica di allineamento.....	131
Fig. 3.201 Inserimento del serramento .....	131
Fig. 3.202 Posizionamento del serramento.....	131
Fig. 3.203 Solaio in blocchi .....	132
Fig. 3.204 Solaio interpiano in blocchi di calcecanapulo.....	133
Fig. 3.205 Sperimentazioni di riempimenti di soali in blocchi a.....	133
Fig. 3.206 Sperimentazioni di riempimenti di soali in blocchi b.....	133
Fig. 3.207 Pareti portanti.....	134
Fig. 3.208 Messa in opera dei blocchi .....	135
Fig. 3.209 Posa dei pannelli radianti a parete e fissaggio con apposita malta di calce.....	135
Fig. 3.210 Risultati a posa ultimata a.....	135
Fig. 3.211 Risultati a posa ultimata b .....	135
Fig. 3.212 Schema costruttivo dell'attacco del muro al basamento.....	136
Fig. 3.213 Schema costruttivo dell'attacco della copertura.....	136
Fig. 3.214 Schema costruttivo dell'arco .....	136
Fig. 3.215 Pannelli strutturali .....	137
Fig. 3.216 Assemblaggio della struttura in legno .....	138
Fig. 3.217 Pannello in fase di asciugatura .....	138
Fig. 3.218 Preparazione al trasporto .....	138
Fig. 3.219 Montaggio dei pannelli sul sito mediante .....	138
Fig. 3.220 Nodo pannello pannello .....	139
Fig. 3.221 Nodo parete solaio .....	139
Fig. 3.222 Nodo copertura piana.....	139
Fig. 3.223 Angolo con pilastro .....	139
Fig. 3.224 Attacco serramento .....	139
Fig. 3.225 Attacco al basamento .....	139

#### **CAPITOLO 4**

Fig. 4.1 Riempimento del tetto inclinato con isolante sfuso .....	143
Fig. 4.2 Modello copertura Legolegno .....	143
Fig. 4.3 Modello solaio Legolegno.....	143
Fig. 4.4 Riempimento del vano tecnico con isolante sfuso.....	143
Fig. 4.5 Montaggio dei pannelli prefabbricati in cantiere .....	144
Fig. 4.6 Stratigrafia del pannello tipo Xilema .....	144
Fig. 4.7 Casseri a perdere realizzati in pannelli Eraclit .....	145
Fig. 4.8 Parete in calcecanapulo contro pannelli Eraclit .....	145
Fig. 4.9 Pannello legnomagnesite tipo Eraclit.....	145
Fig. 4.10 Intonaco di finitura in calcecanapulo su un pannello in gessofibra .....	146
Fig. 4.11 Pavimentazione a secco con pannelli in gessofibra.....	146
Fig. 4.12 Pannello in gessofibra tipo Fermacell.....	146
Fig. 4.13 Riempimento di una chiusura verticale realizzata in pannelli Megapan.....	147
Fig. 4.14 Pannello magnesite tipo Megapan .....	147
Fig. 4.15 Isolamento termico in pannelli flessibili in fibra di canapa .....	148
Fig. 4.16 Pannello in fibra di legno ad elevata densità.....	148
Fig. 4.17 Pannello anticallpestio in fibra di legno .....	148
Fig. 4.18 Schema degli abachi costruttivi .....	153

## CAPITOLO 5

5.1 Mappa del villaggio originario di Granara .....	237
5.2 1990: immagini del villaggio prima del recupero a .....	237
5.3 1990: immagini del villaggio prima del recupero b .....	237
Fig. 5.4 Oggi: Granara di sopra .....	239
Fig. 5.5 Oggi: Granara di sotto.....	239
Fig. 5.6 Realizzazione di mattoni in terra cruda, seminario Maggio 2012 .....	239
Fig. 5.7 Realizzazione di intonaci in terra cruda, seminario Maggio 2012 .....	239
Fig. 5.8 Teatro all'aperto durante il Festival estivo .....	239
Fig. 5.9 Tettoia fotovoltaica.....	239
Fig. 5.10 L'area di progetto .....	240
Fig. 5.11 Il rudere preesistente.....	240
Fig. 5.12 Integrazione di una nuova struttura in quella preesistente in pietra a .....	241
Fig. 5.13 Integrazione di una nuova struttura in quella preesistente in pietra b.....	241
Fig. 5.14 Netta distinzione tra nuovo intervento ed edificio preesistente .....	241
Fig. 5.15 Inserimento di una "scatola" in legno nelle pareti esistenti in pietra .....	241
Fig. 5.16 Gli spazi comuni di Granara e la loro destinazione funzionale .....	242

## INDICE DELLE TABELLE

### Capitolo 1

Tab. 1.1 Ettari coltivati a canapa e la loro produttività tra 1903-1912 .....	5
Tab. 1.2 La superficie coltivata e la produzione di canapa in Italia nel 1914.....	5
Tab. 1.3 Il declino della produzione della canapa dal 1962 al 1966.....	6

### Capitolo 2

Tab. 2.1 Emissioni di CO2 per tipo di legante.....	31
Tab. 2.2 Normativa CEN su legno strutturale .....	33
Tab. 2.3 Normativa Italiana su legno strutturale.....	33
Tab. 2.4 Valori-U dei diversi element costrutvi in base della loro spessore .....	40

### Capitolo 3

Tab. 3.1 Normative per la progettazione delle strutture in legno .....	58
Tab. 3.2 Normative per la classificazione del legno per uso strutturale.....	58
Tab. 3.3 Normative antisismiche.....	58
Tab. 3.4 Fattori di resistenza al vapore dei pannelli utilizzati come casseri a perdere.....	61
Tab. 3.5 Elaborati di descrizione delle tecniche innovative osservate durante i cantieri-scuola, INATER.....	62
Tab. 3.6 Classe di pericolo e misure di soccorso per l'impiego della calce aerea e idrata, Villaga 1 .....	63
Tab. 3.7 Classe di pericolo e misure di soccorso per l'impiego della calce aerea e idrata, Villaga 2 .....	63
Tab. 3.8 Dosaggi di riferimento dalle "Règles professionnelles d'exécution d'Ouvrage en Béton de Chanvre" .....	68
Tab. 3.9 Caratteristiche delle miscele dalle "Règles professionnelles d'exécution d'Ouvrage en Béton de Chanvre" .....	69
Tab. 3.10 Metodi di applicazione del getto in calcecanapulo .....	75

### Capitolo 4

Tab. 2.4 Valori limite della trasmittanza termica U delle strutture opache dell'involucro edilizio .....	141
--	-----

## INDICE DELLE TAVOLE

Tavola 1 Inquadramento generale Ecovillaggio di Granara.....	243
Tavola 2 Planimetria 1:500 Granara di sotto .....	244
Tavola 3 Piante e prospetti 1:200.....	245
Tavola 4 Pianta 1:50.....	246
Tavola 5 Sezioni 1:50.....	247
Tavola 6 Dettagli costruttivi 1:10 .....	248

## INDICE DEGLI ALLEGATI

Allegato 1: Esperienze .....	251
Allegato 2: Schede tecniche.....	251



# 1. LA CANAPA

## 1.1 LA PIANTA DELLA CANAPA

La canapa (*Cannabis sativa*) è una pianta erbacea annuale caratterizzata da elevata potenzialità produttiva. E' stata coltivata con successo in aree geografiche molto differenziate dalla Finlandia fino al Sud Africa, dal Canada all'Australia.

La canapa è una pianta dioica, ovvero esistono esemplari con fiori maschili ed esemplari con fiori femminili; è comunque possibile che si verifichino casi di ermafroditismo (monoica). Ha fusto eretto, più o meno ramificato, vigoroso, dapprima pieno e poi cavo, alto da 1 a 4-5 metri, con struttura esagonale e ricoperto di peli. 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. Le foglie, dalla tipica forma, sono spicciolate, palmate e composte da foglioline lanceolate e seghettate, opposte o alternate a seconda dell'età della pianta e dalla varietà. Sono composte dapprima da una fogliolina, poi da 3, 5, 7, fino ad un massimo di 13, secondo la quantità di luce quotidiana. I fiori sono raggruppati in infiorescenze; quelli maschili sono composti da un calice con cinque petali giallo-verdi, mentre quelli femminili sono formati da un calice contenente un ovulo pendulo da cui escono due pistilli che possono raggiungere la lunghezza di 20 millimetri. E' nel calice che, in caso di fertilizzazione, inizia a formarsi il seme. 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 metri e arrivano 10 chilometri di distanza. Il frutto viene chiamato comunemente seme, essendo questa una consuetudine ben affermata, è di forma sferico-ovoidale, misura 2,5-4 millimetri di lunghezza, con il colore che varia dal grigio al marrone con un effetto "marmorizzato" lucido.

L'insieme delle fibre tessili, comunemente denominato taglio, rappresenta il libro del fusto, da cui il nome di fibre liberiane. Si trova nella corteccia tra l'epidermide ed il canapulo (tessuto vascolare) e costituiscono il principale prodotto commerciale.

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 e secondarie in base alle loro dimensioni e struttura.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> P. Ranalli, B. Casarini, *Canapa: ritorno di una cultura presitigiosa*, Bologna, 199



Fig. 1.1 Zone climatiche adatte alla coltivazione della canapa nel mondo



Fig. 1.2 Cannabis sativa, disegno scientifico

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. Risultano poco adatti invece i terreni argillosi, limosi e quelli dotati di scarsa sostanza organica che tendono a chiudersi quando ai periodi pioggia seguono periodi soleggiati e ventosi. Per garantire una buona riuscita della coltivazione, svolge un ruolo di primaria importanza la prima fase di lavorazione del terreno.

Tradizionalmente era coltivata per le lunghe fibre (dette liberiane perché si formano nel libro, la parte esterna del fusto) adoperate per la produzione di indumenti, biancheria, ma soprattutto corde e vele. Il canapulo (la parte legnosa dello stelo) invece, veniva utilizzato come fonte di energia nella vita domestica e nell'industria.

Oggi lo spettro delle possibili utilizzazioni della canapa è incredibilmente ampio, ed in letteratura sono riportati decine di possibili impieghi. Questa particolare duttilità merceologica, unita alle caratteristiche della coltura agricola a basso impatto ambientale hanno portato molti autori a considerare la canapa una pianta di estremo interesse per il futuro, capace addirittura, con qualche esagerazione, di "salvare il pianeta" da piaghe quali la deforestazione, il buco nello strato di ozono, l'inquinamento.

## 1.2 LO SVILUPPO E LA CRISI DELLA CANAPICOLTURA IN ITALIA

La coltura della canapa per usi tessili ha un'antica tradizione in Italia, in gran parte legata all'espandersi delle Repubbliche marinare, che l'utilizzavano ampiamente per le corde e le vele delle proprie flotte di guerra.

Per secoli l'Italia è stata la maggior produttrice di canapa e ancora agli inizi del Novecento, insieme alla Russia, forniva l'80% del mercato. La tabella 1.1 indica gli ettari coltivati a canapa e la loro produttività nelle nazioni ove questa era più diffusa nella decade 1903-1912.

La canapa italiana è stata considerata di altissima qualità e nettamente superiore in produttività a quella coltivata nelle altre nazioni e con tecniche agricole decisamente più specializzate (come mostrato nella terza colonna della tabella 1.1). La singolarità della canapicoltura italiana ha fatto sì che l'importanza rivestita da questa pianta non si riscontrasse solo limitatamente al contesto delle zone





Fig. 1.3 Cannabis sativa in sezione



Fig. 1.4 Varietà francese monoica



Fig. 1.5 Varietà Italiana dioica

di produzione, ma anche ad un livello superiore, nazionale ed internazionale. Difatti, circa la metà dell'ammontare prodotto era assorbito dal mercato nazionale, mentre la restante parte era venduta all'estero, sia sotto forma di materia greggia sia sotto forma di canapa lavorata.<sup>2</sup>

Nel 1914, in Italia, gli ettari destinati a tale coltura ammontavano ad oltre 100.000 con un rendimento annuo che sfiorava gli 800.000 quintali.

Come si può ben vedere dalla Tabella 1.2 che indica la superficie e la produzione di canapa in Italia a quell'epoca, la canapicoltura risultava distribuita per il 60-70% nella zona Emiliano-Veneta, per più del 20% nel centro Campano e per il 3% in Piemonte. In queste zone, l'impatto sociale ed economico prodotto da questa coltivazione è stato senza dubbio significativo; se si tiene conto anche dell'abbondante utilizzo di manodopera richiesto dalla lavorazione della canapa, emerge la sua importanza, oltre che nel creare numerosi e vivaci mercati, nel garantire lavoro e stabilità ad una rilevante fascia di lavoratori.<sup>3</sup>

Negli anni a seguire, l'aumento della produzione di tessili di cotone e juta, meno costosi, ha provocato una diminuzione della coltivazione della canapa. Dopo la prima guerra mondiale le corde di sostanze sintetiche sostituirono pian piano le corde di canapa e vennero sviluppate le tecniche per produrre carta da legno. Conseguentemente, si passò così da un massimo di 85.000 ettari coltivati, con una produzione complessiva di un milione di quintali, ai 1.860 ettari del 1969 con soli 21.000 quintali di prodotto fino ad arrivare, nel 1970, ad un minimo di 899 ettari con un rendimento di appena 10.000 quintali (vedi Tabella 1.3).

La crisi della canapa, già iniziata nel 1958 con la scomparsa totale della produzione in Val Padana, completa la sua fase nel 1964 quando anche la Campania, ultima regione che ancora tentava di contrastarne l'inesorabile recessione, viene costretta a desistere.

Tra le cause concomitanti, che hanno portato 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

---

2 E. Sessa, *Della canapa e del lino in Italia*, Milano, 1930

3 S. Capasso, *Canapicoltura e sviluppo dei Comuni atellani*, Frattamaggiore, 1994



Fig. 1.6 Lavorazione tradizionale: taglio



Fig. 1.7 Lavorazione tradizionale: raccolta in fasci



Fig. 1.8 Lavorazione tradizionale: macerazione in acqua

particolarmente difficili, soprattutto nella fase della macerazione in acqua degli steli raccolti in fasci. Da allora in Italia la canapa è rimasta il ricordo di una cultura contadina sempre più lontana. Volere coltivare canapa, anche solo per passione è diventato col tempo impossibile con la legislazione, che accomunava la canapa da fibra a quella da droga, rendendone la coltivazione una pratica illegale. Nel 1961, attraverso il *"Single Convention Drug Act"*, l'Organizzazione delle Nazioni Unite (ONU) ha dichiarato la cannabis uno stupefacente, cercando così di proibirne l'uso e la coltivazione in tutto il mondo, ed imponendone la debellazione nel giro di trent'anni. L'Italia, come altri paesi occidentali, ha seguito le normative dell'ONU, e nel 1961, ha sottoscritto una convenzione internazionale chiamata "Convenzione Unica sulle Sostanze Stupefacenti", che si poneva l'obiettivo di far sparire dal mondo la suddetta pianta in circa 25 anni. Nel 1975 esce la "legge Cossiga" contro gli stupefacenti, e negli anni successivi gli ultimi ettari coltivati a canapa scompaiono.

### 1.3 LA COLTIVAZIONE ATTUALE DELLA CANAPA IN ITALIA

Dalla seconda metà degli anni '90, la canapa tradizionale, da fibra, ha trovato nuovi estimatori e sostenitori in seno al movimento ecologista, in quanto coltura naturale, a basso impatto ambientale, che non necessita di input chimici per la coltivazione ed in grado di rinettare il terreno dalle erbe infestanti e quindi apportare un benefico effetto sul terreno stesso. Oltre a questo l'agricoltura europea malata di sovrapproduzione ed eccessiva intensificazione ha cominciato a guardare alle cosiddette colture no food, per diversificare ordinamenti colturali troppo serrati e poco sostenibili.

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 180 ha, mentre nel 2000 sono stati poco più di 150 ha. Le regioni più attive sono state in ordine: l'Emilia-Romagna, il Piemonte, la Toscana, le Marche e la Campania.

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.

<b>Paesi</b>	<b>Ettari Coltivati</b>	<b>Quintali prodotti</b>	<b>Media per ettaro</b>
Russia	686.197	3.440.579	5
Italia	79.477	795.000	10
Russia Asiatica	66.917	297.049	4,5
Ungheria	65.192	587.954	9
Francia	17.214	147.266	8,7
Giappone	13.518	94.893	7,1
Serbia	14.025	67.025	4,8
Romania	5.678	19.035	3,4
Bulgaria	3.015	9.769	3,3

Tab.1.1 Ettari coltivati a canapa e la loro produttività tra 1903-1912.

<b>Province</b>	<b>Superficie (Ettari coltivati)</b>	<b>Quintali prodotti</b>	<b>Produzione per ettaro</b>
Ferrara	30.000	363.000	12
Bologna	11.500	145.800	12,50
Rovigo	8.900	102.800	11,50
Ravenna	1.800	16.700	9
Forlì	1.700	18.000	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	10,50
Altre località		18.700	

Tab.1.2 La superficie coltivata e la produzione di canapa in Italia nel 1914

Anno	Superficie coltivata (in ettari)	Produzione complessiva (in quintali)
1962	14.605	141.000
1964	8.765	95.700
1966	9.410	113.200
1968	4.002	47.500
1970	899	10.080

Tab. 1.3 Il declino della produzione della canapa dal 1962 al 1966

Dalla stagione agraria 1998, la coltivazione industriale è consentita per gli agricoltori, dietro speciale permesso, nel rispetto delle seguenti condizioni:

- la coltivazione deve essere inserita nella denuncia PAC<sup>4</sup>
- deve essere seminata canapa di una cultivar compresa nell'elenco europeo delle varietà con tenore di THC inferiore allo 0,2%, certificata dal cartellino rilasciato dall'ENSE (Ente Nazionale Sementi Elette)
- all'emergenza delle piante va comunicata la presenza 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 aver stipulato contratto di coltivazione con un primo trasformatore autorizzato
- la resa in bacchetta secca ottenuta non deve essere inferiore ai 15 quintali per ettaro

Oggi, in alcune regioni italiane, quali l'Emilia Romagna e la Toscana, ad esempio, sono predisposti 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)<sup>5</sup>, 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.<sup>6</sup> 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.

---

<sup>4</sup> "PAC: Politica agricola comune; è una delle politiche comunitarie di maggiore importanza, impegna circa il 34% del bilancio dell'Unione Europea. Prevista dal Trattato istitutivo delle Comunità.

<sup>5</sup> [www.assocanapa.it](http://www.assocanapa.it)

<sup>6</sup> [www.gruppofibranova.it](http://www.gruppofibranova.it)

## **1.4 LA NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

### **1.4.1 NORMATIVA EUROPEA DI RIFERIMENTO**

- **Regolamento (CE) n.1673/2000 del Consiglio**, del 27 Luglio 2000, relativo all'organizzazione comune dei mercati nel settore del lino e della canapa destinati alla produzione di fibre. "La politica agricola comune ha lo scopo di attuare gli obiettivi del trattato. Nel settore del lino e della canapa, destinati alla produzione di fibre, oltre alle disposizioni relative ai pagamenti per superficie previste dal regolamento (CE) n.1251/1999 del Consiglio, del 17 Maggio 1999, che istituisce un regime di sostegno a favore dei coltivatori di taluni seminativi, occorre prevedere misure relative al mercato interno, che comprendano aiuti ai primi trasformatori delle paglie di canapa e lino o agli altri agricoltori che fanno trasformare le paglie per conto proprio".

- **Regolamento (CE) n.245/2001 della Commissione**, del 5 Febbraio 2001, recante modalità d'applicazione del regolamento CE n. 1673/2000 del Consiglio relativo all'organizzazione comune dei mercati nel settore del lino e della canapa destinati alla produzione di fibre.

- **Regolamento (CE) n.1782/2003 del Consiglio**, del 29 settembre 2003, che stabilisce norme comuni relative ai regimi di sostegno diretto nell'ambito della politica agricola comune e istituisce taluni regimi di sostegno a favore degli agricoltori e che modifica i regolamenti precedenti (CE) n. 2019/93, (CE) n. 1452/2001, (CE) n. 1453/2001, (CE) n.1454/2001, (CE) n. 1868/94, (CE) n.1251/1999, (CE) n. 1254/1999, (CE) n. 1673/2000, (CE) n. 2358/71 e (CE) n. 2529/2001;

- **Regolamento (CE) n.953/2006 della Commissione**, del 19 giugno 2006, che modifica il regolamento (CE) n. 1673/2000, per quanto riguarda l'aiuto alla trasformazione del lino e della canapa destinati alla produzione di fibre e il regolamento (CE) n. 1782/2003, per quanto riguarda la canapa ammissibile al regime di pagamento unico.

- **Regolamento (CE) N. 507/2008 della Commissione**, del 6 giugno 2008 recante modalità d'applicazione del regolamento (CE) n. 1673/2000 del Consiglio relativo all'organizzazione comune dei mercati nel settore del lino e della canapa destinati alla produzione di fibre

### **1.4.2 NORMATIVA ITALIANA DI RIFERIMENTO**

- **Circolare del MIPAF** (Ministero delle Politiche Agricole e Forestali) n.1 protocollo 200 dell'8/5/2002- "Regime di sostegno a favore dei coltivatori di canapa destinata alla produzione di fibre (Cannabis sativa-NC 5302 1000)".

- **Circolare del Ministero della Salute del 22/5/2009** – Produzione e commercializzazione di prodotti a base di semi di canapa per l'utilizzo nei settori dell'alimentazione.

Nelle sopraccitate circolari si legge che:

"A decorrere dalla campagna di commercializzazione 2001/2002, il regime di sostegno comunitario per la canapa (cannabis sativa) ha subito significativi cambiamenti sulla base dei regolamenti Comunitari enunciati nel paragrafo 3.6.1. Compatibilmente con le disposizioni della regolamentazione

comunitaria vigente in

materia ed al fine di agevolare gli organi di controllo operanti sul territorio nello svolgimento della istituzionale attività di controllo e repressione, l'amministrazione ritiene utile precisare quanto segue.

1. Secondo quanto disposto dall'art. 5-bis del regolamento (CE) n. 1251/99 del 17 maggio 1999, il pagamento per superficie e' subordinato all'utilizzazione di varietà di canapa aventi tenore in THC non superiore allo 0,2%.
2. Secondo quanto disposto dall'art. 7-bis, comma 1, lettera b) del regolamento (CE) n. 2316/99 del 29 ottobre 1999, modificato da ultimo dal regolamento (CE) n. 327/2002 del 21 febbraio 2002, i pagamenti per superficie per la canapa sono subordinati all'utilizzazione di sementi certificate delle varietà menzionate nell'allegato XII del medesimo regolamento.
3. Secondo quanto disposto dall'art. 7-ter, comma 1 del regolamento (CE) n. 2316/99 del 29 ottobre 1999, il metodo che deve essere impiegato dalle autorità competenti dello Stato membro per rilevare il tasso di THC su una percentuale delle superfici coltivate a canapa destinata alla produzione di fibre e' descritto nell'allegato XIII del medesimo regolamento. Le varietà di canapa destinate alla produzione di fibre, che figurano al punto 2b) dell'allegato XII del succitato regolamento, sono controllate applicando la procedura B del metodo comunitario descritto nell'allegato XIII.
4. Ai fini della tutela degli agricoltori che ritengono di usufruire delle misure comunitarie di cui trattasi e per consentire agli organi di polizia l'effettuazione dei controlli dell'anzidetto regime di aiuti, gli operatori interessati dovranno dare comunicazione sull'impianto della coltura di cannabis sativa alla piu' vicina stazione di polizia (Polizia di Stato, Corpo dei carabinieri, Guardia di finanza, ecc.)
5. Le circolari n. 734 del 2 dicembre 1997 e n. 4 del 20 aprile 1999 sono abrogate."

## **1.5 GLI SVARIATI USI E PRODOTTI DELLA CANAPA**

Un modo per evidenziare l'importanza del ritorno della coltivazione della canapa consiste nell'elencare gli utilizzi ed i differenti prodotti che se ne possono ricavare. La canapa ha un vastissimo campo di possibili impieghi e può essere utilizzata in diversi settori in funzione della forma in cui è presente. I numerosi prodotti che possono derivare dalle fibre, dal canapulo e dai semi di canapa includono: tessuti per abbigliamento e arredamento; corde e tappeti; carte, geotessili e compositi pannelli isolanti; materiale inerte per edilizia e lettieri per animali; olio per alimentazione, cosmetica e vernici e tanti altri come mostrato nel seguente schema.

## **1.6 IL CONTRIBUITO DELLA CANAPA IN EDILIZIA**

Attualmente i prodotti semilavorati per la commercializzazione da cui possono derivare un gran numero di prodotti finali per il settore edilizio sono tre: il seme, la fibra e il canapulo.

Il seme della canapa, sotto diversi processi chimici può essere utilizzato per la realizzazione di oli per le finitura di superfici in legno.

La fibra corta di canapa semimacerata in campo, pulita dal canapulo, detta anche "lana di canapa" viene utilizzata per produrre pannelli isolanti e fonoassorbenti di diverso spessore e densità. Quando la fibra di canapa scarseggia essa viene mescolata con altre fibre naturali (kenaf, iuta).

Il canapulo ha un potere di assorbimento dei liquidi e un potere isolante molto elevato ( $\mu = 1,5$ ;  $\lambda = 0,048$  W/mK). Mescolato con acqua e calce il canapulo (essendo molto ricco di silice) subisce un pro-



## UTILIZZI MODERNI DELLA CANAPA

### SEME



- Decorticato, utilizzato come alimento ad uso umano ed animale
- Esche per pesci
- Olio ricavato da spremitura a freddo per:
  - condimento per alimenti
  - integratore alimentare per uso nutraceutico
  - produzione di cosmetici e detergenti
- Olio prodotto con processi chimici per fabbricazione di:
  - detersivi
  - inchiostri per stampa
  - tinte per esterni edifici
  - lubrificanti
  - solventi
  - mastici
  - biodiesel
  - combustibile
- Farina ricavata da spremitura



### FIBRA



- Fibra lunga macerata di pregio per filatura ad umido per: tessuti, abbigliamento, arredo casa, calzature, accessori, tele per dipinti
- Fibra lunga macerata meno pregiata
  - cordami, reti e sacchi
  - teloni, tessuti per rinforzo plastiche petrolchimiche
  - filati per tappeti e maglieria
  - imbottitura materassi
  - pasta di cellulosa per carte, cartoni e imballaggi
  - pannolini
  - blocchi stampati in pressofusione
- Fibra corta semimacerata per:
  - pannelli isolanti per edilizia
  - geotessili per pacciamature
  - imbottiture per auto



### FIORE



- 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 100 preparati medicinali (cura tra l'altro glaucoma, vomito, attacchi di asma, spasmi di diverso genere, analgesico)



### CANAPULO



- Intonaci e cappotti isolanti per edifici, blocchi da costruzione in calcecanapulo
- Mangimi per ruminanti
- Lettiere per cavalli e piccoli animali
- Pannelli rigidi per interno auto (cruscotto)
- Pannelli rigidi per fabbricazione mobili
- Pellet/brichette di qualità
- Materiale per disoleazione acque inquinate



Fig.1.9 Gli usi della canapa



Fig. 1.10





Fig. 1.11 Olio di di canapa per finitura, Atelier du vieux pin



Fig. 1.12 Olio di di canapa di verniciatura, Finico

cesso di “carbonizzazione” nel quale la parte legnosa viene mineralizzata. Nei secoli passati il canapulo o anche canapulo e fibra ridotti in pezzetti sono stati impiegati come materiali da costruzione, mescolati con argilla o calce. Gli steli tal quali sono stati utilizzati per realizzare strutture leggere, che venivano intonacate per creare soffitti e tramezzi.<sup>7</sup>

## 1.6.1 PRODOTTI DI SEMI

### 1.6.1.1 Olio di finitura e verniciatura per il legno

Si tratta di oli di finitura senza solventi capaci di rendere resistenti e impermeabili le superfici. Essi possono essere applicati per la protezione di legni nuovi oppure per far risplendere il colore di legni vecchi divenuti opachi. Una volta steso sulla superficie l’olio penetra all’interno del legno per proteggerlo sia internamente che esternamente senza lasciare alcuna pellicola.

Questo olio è indicato per il trattamento dei legni da cucina trattandosi di un materiale salubre senza alcun rischio per la salute. Il suo tempo di asciugatura è di circa 24 ore.

#### Aziende produttrici:

- Artdec- produits de finition pour bois (Canada), [www.artdec.ca/boutique/m/finico](http://www.artdec.ca/boutique/m/finico)
- Atelier du vieux pin Inc. (Francia), [www.atelierduvieuxpin.com](http://www.atelierduvieuxpin.com)

## 1.6.2 PRODOTTI DI FIBRA

### 1.6.2.1 Geotessili in fibra di canapa

Il geotessile è un prodotto dell’industria tessile caratterizzato da proprietà fisiche, meccaniche e idrauliche tali da poter essere impiegato in opere di ingegneria civile, a contatto con il terreno; esso viene impiegato per svolgere tre funzioni fondamentali: rinforzo, filtrazione e separazione. Grazie alla sua grande resistenza a trazione (anche quando bagnata), con un allungamento minimo e la sua eccellente qualità di assorbimento dell’acqua, nonché una biodegradabilità relativamente lenta, la canapa consiste in un materiale particolarmente adeguato per la produzione di geotessili. Paragonato al lino, l’im-

<sup>7</sup> [www.assocanapa.it](http://www.assocanapa.it)



Fig. 1.13 Geotessile TechniFeutre della Technichanvre



Fig. 1.14 Geotessile TechniFeutre della Technichanvre

piego di canapa per questo uso comporta anche un notevole vantaggio economico.

**Aziende produttrici:**

- StabiGreen (Francia), [www.stabigreen.com](http://www.stabigreen.com)
- Technichanvre (Francia), [www.technichanvre.com](http://www.technichanvre.com)

**1.6.2.2 Tappeti isolanti in fibra di canapa**

I tappeti isolanti in fibra di canapa sono particolarmente adatti alla realizzazione di pavimenti galleggianti o radianti. Possono essere utilizzati per creare il risvolto dello strato isolante del solaio sulla parete verticale, per mantenere separata la struttura dagli strati soprastanti.<sup>8</sup>

Si tratta di un prodotto di facile applicazione, che può essere tagliato con una normale forbice senza rilasciare fibre o polveri. Il suo utilizzo è idoneo per quegli ambienti in cui è essenziale un materiale atossico e non polveroso come pavimenti galleggianti ispezionabili. Questi materassini hanno densità intorno a 20 o 30 kg/m<sup>3</sup> e spessori tra 3 e 10 mm.<sup>9</sup>

**Aziende produttrici:**

- La Maison Verte (Italia), [www.lamaisonverte.it](http://www.lamaisonverte.it)
- Technichanvre (Francia), [www.technichanvre.com](http://www.technichanvre.com)

**1.6.2.3 Materassi isolanti in fibra di canapa**

I materassi isolanti in fibra di canapa per solai, pareti e coperture, rappresentano attualmente il maggiore impiego della canapa in edilizia.<sup>10</sup> Essi vengono prodotti con fibre corte di canapa semimacerata, spesso mescolate con altre fibre naturali quali la juta e il kenaf. Per la produzione del materassino le fibre vengono termosaldare con fibre di poliestere oppure con amido di patate o altri collanti naturali.<sup>11</sup> Si tratta di un prodotto di facile applicazione, che può essere tagliato con coltelli specifici o seghetti

---

<sup>8</sup> [www.lamaisonverte.it](http://www.lamaisonverte.it)

<sup>9</sup> [www.diasen.com](http://www.diasen.com)

<sup>10</sup> [www.diasen.com](http://www.diasen.com)

<sup>11</sup> V. Valeria, *Analisi LCA della coltivazione della canapa e suoi possibili utilizzi nel campo della bioedilizia*, tesi di laurea, Politecnico di Milano, 2011



Fig. 1.15 Sottofondo prepavimento a secco



Fig. 1.16 Tappeto in fibra di canapa Technichavre Hempfloor



Fig. 1.17 Taglio matterassini Technichvre Hempwool



Fig. 1.18 Posa matterassini Technichvre Hempwool



Fig. 1.19-1.20 Matterassini Technichvre Hempwool





Fig. 1.21 Pannello semirigido Celenit LC/30



Fig. 1.22 Isolamento parete con pannello Canaton

alternativi con lame appropriate, senza rilasciare fibre o polveri. Il suo utilizzo è idoneo per quegli ambienti in cui è essenziale un materiale atossico e non polveroso come pavimenti galleggianti ispezionabili o controsoffittature. Questi materassini hanno densità intorno a 20 o 30 kg/m<sup>3</sup> e spessori tra 30 e 80 mm.

**Aziende produttrici:**

- Manifattura Maiano (Italia), [www.assocanapa.it](http://www.assocanapa.it)
- KEFI, fibre naturali (Italia), [www.kenaf-fiber.com/it](http://www.kenaf-fiber.com/it)
- Diasen- Fiberkenaf Pan (Italia), [www.diasen.com](http://www.diasen.com)
- Ton-gruppe | edilizia sostenibile dal 1979 (Italia), [www.ton-gruppe.it](http://www.ton-gruppe.it)
- Nordtex (Italia), [www.nordtex.it](http://www.nordtex.it)
- Hempflex (Olanda), [www.hempflax.com](http://www.hempflax.com)
- Steico Canaflex (Francia), [www.steico.com](http://www.steico.com)
- Technichanvre (Francia), [www.technichanvre.com](http://www.technichanvre.com)
- Natural Insulation (Inghilterra), [www.naturalinsulations.co.uk](http://www.naturalinsulations.co.uk)

**1.6.2.4 Pannelli isolanti semirigidi in fibra di canapa**

I pannelli isolanti in fibra di canapa hanno una composizione simile a quella dei materassi, ma hanno una densità maggiore, circa 40 kg/m<sup>3</sup> e sono disponibili in spessori fino a 180 mm.<sup>12</sup> La loro rigidità permette loro di autosostenersi senza la necessità di applicarvi collanti o tasselli. Essi trovano perciò impiego soprattutto nell'isolamento di pareti perimetrali o interne sia nella nuova costruzione che per interventi di recupero. Si tratta di un prodotto isolante traspirante, atossico, facile da applicare, in particolare come tamponamento di strutture in legno.<sup>13</sup>

Essi vengono prodotti con fibre corte di canapa semimacerata, spesso mescolate con altre fibre naturali quali la juta e il kenaf. Per la loro produzione le fibre vengono termosaldare con fibre di

---

<sup>12</sup> [www.lamaisonverte.it](http://www.lamaisonverte.it)

<sup>13</sup> [www.diasen.com](http://www.diasen.com)



Fig. 1.23 Materassi di diversi spessori Cormatex



Fig. 1.24 Materasso Cormatex

poliestere oppure con amido di patate o altri collanti naturali.<sup>14</sup>

**Aziende produttrici:**

- KEFI, fibre naturali (Italia), [www.kenaf-fiber.com/it/isolkenaf.asp](http://www.kenaf-fiber.com/it/isolkenaf.asp)
- Diasen - Fiberkenaf Pan (Italia), [www.diasen.com](http://www.diasen.com)
- Ton-gruppe | edilizia sostenibile dal 1979 (Italia), [www.ton-gruppe.it](http://www.ton-gruppe.it)
- La Maison Verte (Italia), [www.lamaisonverte.it](http://www.lamaisonverte.it)
- Celenit (Italia), [www.celenit.comHempflex](http://www.celenit.comHempflex) (Olanda)
- Steico Canaflex (Francia), [www.steico.com](http://www.steico.com)
- Natural Insulation (Inghilterra), [www.naturalinsulations.co.uk](http://www.naturalinsulations.co.uk)
- Black Mountain Insulation LTD (UK), [www.blackmountaininsulation.com](http://www.blackmountaininsulation.com)

**1.6.3 PRODOTTI DI FIBRA E CANAPULO**

**1.6.3.1 Materassi isolanti in canapulo e fibra**

Si tratta di un prodotto composto sia dalla parte fibrosa che quella legnosa della canapa, che attraverso un processo di miscelazione e compressione, prende la forma di un materasso con densità perfettamente uniforme sia in senso longitudinale che trasversale su tutto il suo spessore. Il materiale in lavorazione viene preparato e miscelato accuratamente con tradizionali sistemi di apertura e mischia comunemente impiegati nelle linee produttive di tessuto non tessuto e di seguito viene sfioccato in modo molto intenso e trasportato in una camera di condensazione dove avviene la formazione del materasso di fibre con le caratteristiche di grammatura e spessore desiderati. Gli spessori variano da 20 e 100 mm con una densità di circa 30 kg/m<sup>3</sup>.<sup>15</sup>

**Aziende produttrici:**

- Cormatex Srl (Italia), [www.cormatex.it](http://www.cormatex.it)

---

<sup>14</sup> V. Valeria, *Analisi LCA della coltivazione della canapa e suoi possibili utilizzi nel campo della bioedilizia*, tesi di laurea, Politecnico di Milano, 2011

<sup>15</sup> [www.cormatex.it](http://www.cormatex.it)

### 1.6.3.2 Impasti di calce, canapulo e fibra

La miscelazione di fibra grezza di canapa e canapulo insieme alla calce idraulica e l'aggiunta di acqua risulta una malta fibrorinforzata che può essere impiegata nella realizzazione di pareti e solai. Tale malta è ipotizzata per l'utilizzo all'interno di un sistema costruttivo inventato dall'architetto Maria Luisa Bisognin, e prevede la realizzazione di una struttura portante costituita da particolari elementi in steli di canapa, ai quali viene gettata tale miscela.<sup>16</sup>

## 1.6.4 PRODOTTI DI CANAPULO

### 1.6.4.1 Canapulo sfuso

Per l'isolamento di superfici piane non calpestabili oppure per il riempimento di intercapedini dei muri o solai, è possibile utilizzare il canapulo sfuso. Esso presenta un'elevata capacità isolante, con una conduttività termica di circa 0,048 W/m<sup>2</sup>K. Esso ha una granulometria di dimensioni comprese tra i 5 e i 30 mm in lunghezza e i 2 e i 5 mm in larghezza e dev'essere completamente ripulito da foglie, fibre e polveri.<sup>17</sup>

Alcune aziende consigliano l'utilizzo di un canapulo mineralizzato, trattato tramite l'aggiunta di acqua, sabbia di pomice e calce aerea; così trattato il canapulo diventa fungicida e antiparassitario e sviluppa la sua capacità di regolazione igrotermica.<sup>18</sup> Il canapulo può anche essere trattato con sali di boro per migliorare le proprietà antincendio e la refrattarietà alle muffe e insetti.<sup>19</sup> Recentemente, è stata sperimentata una tecnica di mineralizzazione e trattamento del canapulo sfuso mischiandolo con un vetrificante per la realizzazione dell'isolamento di solaio.<sup>20</sup>

La messa in opera dell'isolamento in canapulo sfuso è molto semplice. Per l'isolamento di intercapedini verticali e orizzontali (o inclinate), il canapulo sfuso viene versato manualmente nelle intercapedini in maniera da coprire uniformemente gli spazi vuoti, senza però essere pressato, perché questa operazione ridurrebbe la sua capacità isolante. Un'altra tecnica per l'isolamento con il canapulo sfuso, sperimentata da poco in un intervento di ristrutturazione,<sup>21</sup> prevede l'utilizzo di una macchina insufflatrice per il riempimento dell'intercapedine di una muratura a doppia parete realizzata in mattoni forati. Per l'isolamento di superfici non calpestabili dei sottotetti, ad esempio, il canapulo sfuso viene versato manualmente e steso con un rastrello nello spessore necessario al livello di isolamento richiesto.

#### **Aziende produttrici:**

- Assocanapa s.r.l, [www.assocanapa.it](http://www.assocanapa.it) (Italia)
- Equilibrium Equilibrio Naturale Costruito (Italia), [www.equilibrium-bioedilizia.com](http://www.equilibrium-bioedilizia.com) Canosmose (Francia), [www.canosmose.com](http://www.canosmose.com)
- Chaux Chanvre Argille (Francia), [www.alliance4.fr](http://www.alliance4.fr)
- CTC - Chanvre Terre Chaux (Francia), [www.chanvre-terre-chaux.com](http://www.chanvre-terre-chaux.com)

---

<sup>16</sup> Sistema Casa Coltivata, [www.architettobisognin.it](http://www.architettobisognin.it)

<sup>17</sup> Equilibrium, manuale tecnico, [www.equilibrium-bioedilizia.com](http://www.equilibrium-bioedilizia.com)

<sup>18</sup> Chaux Chanvre Argille, [www.alliance4.fr](http://www.alliance4.fr)

<sup>19</sup> Architetto S. Sabbadini

<sup>20</sup> Prove realizzate dall'architetto S. Sabbadini dal Disstudio con l'impresa gruppo LMB snc, in un cantiere a Casatenovo in Italia, 2012

<sup>21</sup> Prove di insufflaggio in ristrutturazione di una palazzina a Milano, condotte dal architto S. Sabbadini dal Dissutudio con l'impresa gruppo LMB snc, nel 2012



Fig. 1.25 Fibra grezza e canapulo per la realizzazione della malta per il sistema costruttivo Casa Coltivata

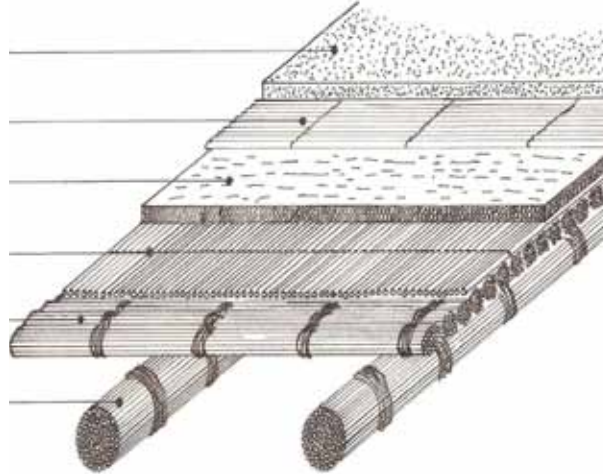


Fig. 1.26 Struttura del solaio con con steli di canapa per il sistema Casa Coltivata



Fig. 1.27 Riempimento del solaio con canapulo ChanvriSol



Fig.1.28 Riempimento del tetto con canapulo Canosmose



Fig. 1.29 Impasto di calcecanapulo pronto per la messa in opera



Fig. 1.30 Muro realizzato in calcecanapulo

#### 1.6.4.2 Calcecanapulo

Il calcecanapulo è un materiale edile naturale ed innovativo, a basso impatto ambientale, con alte prestazioni di regolazione termica ed igrometrica. Esso è ottenuto dalla miscelazione del canapulo, parte legnosa dello stelo di canapa, con calce e acqua.

Messo in opera sotto forma di materiale amorfo, esso indurisce per evaporazione dell'acqua e si "pietrifica" grazie all'azione di carbonatazione e idratazione della calce, trasformandosi in un materiale solido, ma leggero, con buone caratteristiche di isolamento e durevolezza.

Nei seguenti capitoli verranno dimostrati in dettaglio i molteplici campi d'impiego e le tecniche costruttive di tale materiale.

Per le aziende produttrici vedi capitolo 3.

### 1.7 LE ASSOCIAZIONI PROMOTRICI DEL RITORNO DELLA CANAPA IN ITALIA

Dal 1998 si è quindi ripreso a coltivare canapa da fibra grazie al contributo CEE di 1.300.000 lire per ettaro. Sull'onda dell'entusiasmo per la nuova situazione creatasi, nacquero in breve tempo alcune associazioni e società interessate alla canapa ed ai suoi utilizzi industriali, tra le quali vale la pena ricordarne tre.

La prima è **Assocanapa** (Coordinamento nazionale per la canapicoltura) è un'associazione senza scopo di lucro, costituita a Torino con precisione a Carmagnola, nel gennaio del 1998, che riunisce i coltivatori di canapa tessile della zona e di altre regioni, più alcuni appassionati della materia. Presidente di questa associazione era ed è tutt'oggi il sig. Felice Giraud, ex sindaco di Carmagnola. Egli, originario di Carmagnola da sempre attratto dall'argomento canapa, dopo aver notato il nuovo interesse con cui l'Europa guardava a questa coltura, decise di utilizzare dei semi tenuti in serbo per anni da suo suocero, semi sì di scarsa germinabilità, ma capaci di riprodurre quella varietà che per secoli ha reso la cittadina di Carmagnola famosa in tutto il mondo.<sup>22</sup> L'interesse di Assocanapa non è solamente rivolto allo sviluppo biologico dell'agricoltura (senza l'utilizzo di antiparassitari e fertilizzanti) ed alle produzioni delle sementi, ma abbraccia anche il processo industriale. L'obbiettivo è costruire una filiera, ovvero l'intero processo di produzione e trasformazione della canapa, in modo da accomunare gli interessi degli agricoltori con quelli degli industriali, ovvero, "il promuovere, tutelare e diffondere la coltivazione della canapa e il suo impiego nei vari settori produttivi..." attraverso il "promuovere, stimolare e sviluppare la ricerca volta a favorire e agevolare tale coltivazione".

Nel 2006 l'associazione ha completato con successo la costruzione di un primo prototipo di sfibratrice e di un primo prototipo di macchina pulitrice, per migliorare la separazione della fibra dal canapulo, e nel 2010 ha messo a punto un impianto di prima trasformazione della canapa.<sup>23</sup>

L'altra associazione attiva su queste problematiche è il **Consorzio Canapaitalia**, fondato nel luglio del 1999 in Emilia-Romagna e con precisione a Ferrara, storica sede della canapicoltura italiana. 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, tra l'altro coltivati in modo continuo in

---

<sup>22</sup> S. Capasso, *Canapicoltura: passato, presente e futuro*, OPICIA, 2001

<sup>23</sup> Assocanapa s.r.l., [www.assocanapa.it](http://www.assocanapa.it)



maniera tale che la polizia possa 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 (Delta 2000), la Regione Emilia-Romagna ed addirittura anche la linea Jeans di Armani; 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; Soprattutto si guarda con molto interesse all'ambito tessile ed a quello cartario.

**Il Gruppo Fibranova**, è una Società nata nel 2000 su iniziativa di alcuni imprenditori, ricercatori scientifici e consulenti finanziari che hanno avuto un ruolo significativo, a partire dal 1996, nella riscoperta della canapa. Alcuni di loro hanno coltivato infatti i primi appezzamenti sperimentali di canapa già dal 1996 ed il loro attuale Presidente, Cesare Tofani, è stato socio fondatore di Assocanapa. Lui stesso, partecipando ai tavoli di concertazione inter-ministeriali, in cui sono state definite le normative italiane, ha avuto modo di confrontarsi con istituzioni e funzionari a livello nazionale ed europeo. Il gruppo quindi ha intuito che oltre al momento associativo occorre creare un'impresa privata che fosse in grado di sviluppare attività specifiche in un contesto produttivo, metodi e tecnologie sostenibili per ricostruire l'intera filiera della canapa, dai produttori agricoli fino all'industria di trasformazione. Attualmente, Fibranova fa parte di gruppi di lavoro specifici, italiani ed internazionali, come quelli della FAO sulle produzioni di fibre naturali; la COST action 847, che riguarda le biotecnologie innovative applicate al tessile; la European Industrial Hemp Association (EIHA), di cui è anche un membro fondatore, che raggruppa i maggiori produttori e trasformatori industriali di fibre di canapa in Europa e vari esperti del settore. La Società sta lavorando con gruppi d'imprenditori agricoli in Toscana, Campania ed in Veneto, le regioni dove è più facile poter impiantare le colture.<sup>24</sup> La Toscana suscita un interesse particolare essendo un'area dove l'imprenditoria agricola e quella delle Pmi operano in stretto contatto. In varie zone della regione, quali Prato o il Valdarno superiore, si trovano terreni adatti alle colture, ma anche una miriade d'aziende in grado di utilizzare il prodotto e trasformarlo.<sup>25</sup>

---

*24 Si tratta del progetto Toscanapa- un progetto pilota proposto per la Regione Toscana, nato per creare un processo innovativo nella macerazione delle fibre ad uso tessile, per verificare la possibilità di utilizzare i sottoprodotti per fare carta e per valutare la possibilità tecnico- economica di avviare le imprese di trasformazione*

*25 [www.gruppofibranova.it](http://www.gruppofibranova.it)*



## 2. IL CALCECANAPULO - NUOVO MATERIALE NATURALE PER L'EDILIZIA

### 2.1 DEFINIZIONE E DIFFUSIONE

Il calcecanapulo<sup>1</sup> è un materiale edile naturale ed innovativo, a basso impatto ambientale, con alte prestazioni di regolazione termica ed igrometrica. Esso è ottenuto dalla miscelazione del canapulo, parte legnosa dello stelo di canapa, con calce e acqua.

Messo in opera sotto forma di materiale amorfo, esso indurisce per evaporazione dell'acqua e si "pietrifica" grazie all'azione di carbonatazione e idratazione della calce, trasformandosi in un materiale solido, ma leggero, con buone caratteristiche di isolamento (conduttività :  $\lambda=0,08$  W/mK, per impasti 1:2,2) e durezza.

La calce lega gli aggregati di canapa: essa a contatto con l'alto contenuto di silice del canapulo<sup>2</sup> genera un processo di "carbonizzazione" che mineralizza il composto incrementandone le capacità meccaniche, conferendo al materiale una resistenza a compressione pari a  $\sigma_c=0,3$  MPa.<sup>3</sup>

L'alta permeabilità della calce permette al canapulo di esercitare la sua capacità di regolazione termica, assorbendo o rilasciando umidità all'ambiente. La cristallizzazione del canapulo, grazie all'azione della calce, lo inerte e riduce i rischi di marcescenza e di formazione di muffe (Evrard et al., 2006).

Il tipo di legante (calce idrata, calce idraulica naturale oppure una combinazione delle due) il tipo di canapa (qualità e lunghezza del canapulo, ecc.) e le proporzioni, determinano materiali con caratteristiche diverse, adatti a differenti impieghi in edilizia.

La miscela di calcecanapulo può essere impiegata per la realizzazione di muratura di tamponamento di una struttura a telaio. Adattando la miscela, rendendola più densa o più leggera, essa può essere utilizzata anche per l'isolamento di pavimenti e tetti, per intonaci isolanti interni ed esterni e per la realizzazione di finiture. Dopo la miscelazione, l'impasto viene applicato a mano o a macchina, a seconda dell'impiego. L'impasto di calcecanapulo viene anche utilizzato per la formazione di blocchi e pannelli prefabbricati.

---

*1 Termine coniato dall'arch. Sergio Sabbadini*

*2 La silice viene assorbita dal suolo e accumulata nella pianta di canapa durante la sua crescita; la silice presente nel canapulo è di circa 1% (Bouloc, 2006).*

*3 Dati per una parete di 35 cm di spessore con il dosaggio di 1kg di canapulo, 2,2kg di calce premiscelata Tradical e 3,5 litri di acqua, [www.construction-chanvre.asso.fr](http://www.construction-chanvre.asso.fr)*

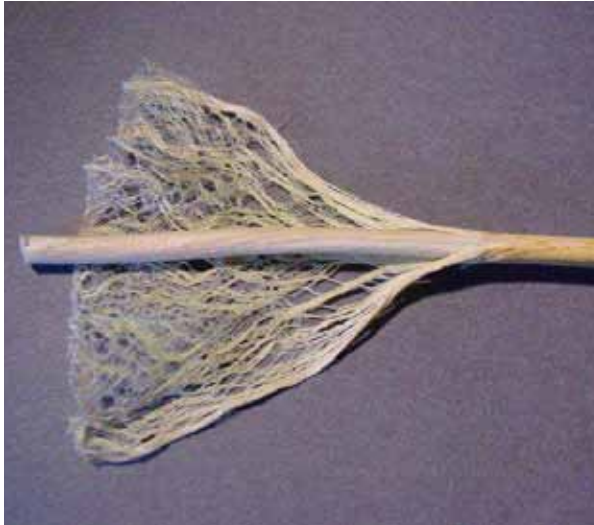


Fig. 2.1 Il canapulo, l'interno legnoso dello stelo



Fig. 2.2 Il canapulo sfuso da Equilibrium, Equilibrio Naturale Costruito

Il calcecanapulo è considerato un materiale “carbon negative” poiché assorbe e trattiene carbonio, riducendo le emissioni attive di CO<sub>2</sub> in atmosfera; quindi rende gli ambienti in cui è applicato più salubri ed abbatte le emissioni inquinanti del processo edilizio.<sup>4</sup>

La natura igroscopica<sup>5</sup> e la permeabilità al vapore del materiale permettono di ridurre la condensazione dell'ambiente interno, mantenere un livello di umidità costante e migliorare il comfort abitativo.

L'uso del calcecanapulo ha iniziato a diffondersi nell'industria edile intorno ai primi anni '90, in particolare in Francia e in Belgio, grazie ad alcune esperienze di successo nell'ambito delle ristrutturazioni di edifici medioevali, in particolare quelli con struttura in legno. Esso è stato utilizzato come sostituzione degli antichi materiali di riempimento che prevedevano il tradizionale metodo 'a cannicciata di fango' con un materiale moderno e naturale che preservasse le proprietà del legno e della terra (Beavan & Woolley 2008).

Affermato il successo della combinazione tra calce e canapulo, come materiali dalle proprietà complementari, lo sviluppo del materiale è avvenuto mediante la messa a punto di diverse ricette da parte dei produttori, in collaborazione con centri di ricerca. Ne sono risultati vari dosaggi legati al tipo di legante utilizzato, senza una formulazione di una composizione standard del legante tale da ottenere un consenso unanime.

Una collaborazione tra LCDA<sup>6</sup> e Strasservil<sup>7</sup>, sulla base dell'esperienza degli operatori ha promosso lo sviluppo del primo legante (Tradical) adattato al funzionamento specifico con il canapulo (Costruire en chanvre).

Attualmente il calcecanapulo sta prendendo piede tra diverse imprese bioedili, in Francia, Regno Unito, Germania, Spagna, Belgio e anche in Italia.

---

<sup>4</sup> Calcecanapa, [www.calcecanapa.it](http://www.calcecanapa.it)

<sup>5</sup> La capacità di un materiale di assorbire e rilasciare il vapore acqueo presente nell'aria quando l'umidità relativa dell'ambiente varia, grazie ai legami elettrostatici sulla sua superficie (Palmer, 2010).

<sup>6</sup> LCDA- Azienda Francese, specializzata nella produzione e lavorazione di canapa industriale

<sup>7</sup> Nel 2004 l'attività della Strasservil è stata divisa in due: Tradical, si occupa della produzione dei leganti per la costruzione con la canapa e in Gruppo Lhoist, si occupa della produzione generale della calce.



Fig. 2.3 Canapulo fine con lunghezza inferiore a 10 mm



Fig. 2.4 Canapulo medio con lunghezza tra i 10 e i 20 mm



Fig. 2.5 Canapulo grosso con lunghezza tra i 20 e i 30 mm

## 2.2 MATERIE PRIME

### 2.2.1 IL 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 isolanti 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 e 30mm in lunghezza e tra i 2 e 5mm in larghezza.<sup>8</sup>

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 litri, oppure in Big Bag da 1.200 o 2.500 litri. 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 (fig.2.3)
- **medio** con lunghezza tra i 10 e i 20 mm (fig.2.4)
- **grosso** con lunghezza tra i 20 e i 30 mm (fig.2.5)

Degli studi realizzati dal Laboratoire Mateis di Lyon dimostrano che le particelle del canapulo hanno una altissima porosità (60 %) perché composte da tubicini di piccoli diametri (0,08 mm), composizione che rende il canapulo una materia prima leggera, con massa volumica intorno ai 110 kg/m<sup>3</sup>. La sua porosità accompagnata dalla flessibilità delle membrane vegetali conferisce ai trucioli una buona capacità di deformazione (Arnaud L.).<sup>9</sup>

La sua caratteristica di porosità è anche alla base delle prestazioni termiche e acustiche delle miscele utilizzate in edilizia di calce e canapulo.

---

<sup>8</sup> Da Equilibrium, *Equilibrio Naturale Costruito*, [www.equilibrium-bioedilizia.it](http://www.equilibrium-bioedilizia.it)

<sup>9</sup> Laurent Arnaud, Driss Samri, Bernard Boyeux, *Intérêts écologiques et performances techniques des mortiers de chanvre et chaux pour le bâtiment*

Nei microscopici alveoli di cui è composto il tessuto del canapulo si susseguono continui processi di micro-condensazione ed evaporazione. Questi gli conferiscono un potere di assorbimento dei liquidi circa 12 volte superiore alla paglia, 3,5 volte superiore al truciolo di legno e pari a 5 volte il suo peso.<sup>10</sup> E' questo processo a fornire alle miscele di calcecanapulo il particolare comportamento igrometrico. Altra caratteristica è il suo alto contenuto di silice che favorisce il processo di carbonatazione della calce, il lento processo che mineralizza il composto aumentando le sue prestazioni di resistenza meccanica e preserva il legno, a contatto con la miscela di calce e canapa da processi di degrado.

### **2.2.1.1 La lavorazione**

Rispetto alle tecniche di coltivazione tradizionale oggi in agricoltura non si può prescindere dall'industrializzazione dei processi. La meccanizzazione della raccolta è indispensabile per espandere le produzioni su larghe superfici, consentendo di tagliare e condizionare il materiale agricolo nel breve periodo della maturazione delle piante (al termine della fioritura) e di prepararlo ad essere stoccato convenientemente in attesa che venga ritirato per la stigliatura.

Nel caso della lavorazione del lino le macchine di raccolta ed imballaggio si sono evolute con i tempi ed esistono oggi estirpatrici, rivoltatrici singole e doppie, rotoimballatrici specifiche molto efficienti e veloci. La meccanizzazione della coltivazione della canapa era invece rimasta fino a una ventina di anni fa alle mietitrici di costruzione russa ancora oggi adoperate nei Paesi dell'Europa dell'Est. La recente rinascita della filiera della canapa ha quindi richiesto l'adattamento dei macchinari esistenti per una corretta lavorazione della canapa.

Innanzitutto è stata verificata la possibilità di stigliare le bacchette di canapa utilizzando le macchine da lino, ma la canapa rispetto al lino ha una taglia maggiore. La diversa altezza delle piante impone perciò un intervento per ridurre la lunghezza delle bacchette che devono avere lunghezza di un minimo di 90 cm e un massimo di 110 cm, per poter essere lavorate dai sistemi di stigliatura. Una possibilità è quindi quella 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'andatura, la rivoltatura e il rotoimballaggio.<sup>11</sup>

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

E' però chiaramente preferibile poter lavorare la pianta fatta crescere alla sua taglia normale, di 2 – 2,8 m, piuttosto che intervenire con trattamenti chimici, perché i dati dimostrano che oltre a ridurre considerevolmente la quantità del raccolto ed ad aggiungere costi economici ed ambientali, si ottiene un materiale di qualità inferiore.

Oltre al problema dell'altezza i fusti delle varietà di canapa italiane hanno le 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. Allo scopo di trovare un metodo di lavorazione meccanizzata efficiente per questo tipo di piante, sono state svolte ricerche e brevettate da alcune aziende delle macchine innovative per la coltivazione della canapa. Un esempio ne è il progetto Toscanapa, finanziato dalla regione Toscana per la messa

---

<sup>10</sup> Da Assocanapa, [www.assocanapa.it](http://www.assocanapa.it)

<sup>11</sup> "Meccanizzazione della raccolta e della logistica" [www.gruppofibranova.it](http://www.gruppofibranova.it)

a punto di un impianto pilota di macerazione delle fibre di canapa ad uso tessile. Per quanto riguarda la filiera moderna di produzione di fibra tecnica e canapulo per l'edilizia essa può in parte differenziarsi da quella per la produzione di fibra tessile. Non è ad esempio necessaria la fase di macerazione in acqua, fondamentale per la fibra tessile, ma non influente sulla qualità di canapulo e fibra tecnica.<sup>12</sup>

Come avveniva in Europa nei tempi passati, nei paesi in via di sviluppo ancora oggi la stigliatura della canapa viene eseguita a mano nelle aziende agricole, spezzando in alcuni segmenti gli steli macerati in acqua ed asciugati al sole e al vento. Con questa operazione la fibra ben macerata si stacca dal fusto e viene recuperata in matasse per poi essere passata alla pettinatura e quindi alla filatura.

In Emilia e in Campania però fino alla metà degli anni Cinquanta del secolo scorso funzionavano già veri e propri impianti con macchine a vapore alimentate manualmente le quali, con un sistema di rulli metallici contrapposti stigliavano l'intera bacchetta, lunga fino a 4 metri.

Per la produzione con le fibre vegetali di pasta di cellulosa ad uso cartario furono poi costruiti in epoca autarchica ed utilizzati fino agli anni Settanta del secolo scorso macchinari che operavano la separazione senza necessità di tenere gli steli ordinati (canapa, lino, ginestra paglie).

In questi impianti la separazione della fibra dal canapulo veniva ottenuta con un mulino a coltelli e la pulizia mediante un ciclone, che sfrutta il diverso peso specifico delle due componenti del fusto della pianta. La canapa impiegata in queste lavorazioni era sempre macerata in acqua.

Oggi nei paesi europei (Francia, Germania, Inghilterra, Irlanda, Ungheria) e in Canada, dove oggi è praticata la coltivazione della canapa per la destinazione della fibra ad usi industriali la raccolta delle bacchette avviene mediante falciatura, macerazione in campo e rotopressatura.

Le rotoballe vengono poi trattate in grandi impianti messi a punto tramite l'adattamento di macchinari per la stigliatura del lino (Delmastro & Robiola, 2010).

#### **2.2.1.1.1 Taglio**

Per la produzione di fibra tecnica e canapulo la pianta andrebbe falciata al raggiungimento del massimo sviluppo, che avviene verso fine agosto, inizio di settembre.<sup>13</sup>

Alcuni agricoltori hanno sperimentato la possibilità di lasciar essiccare naturalmente le piante sui campi e di falciare i campi a marzo o aprile dell'anno seguente in modo da semplificare notevolmente la raccolta degli steli già secchi e facilitare l'operazione di stigliatura. Con questo metodo sarebbe anche possibile pensare a una semina della canapa posticipata all'inizio dell'estate, rendendo così la canapa una seconda coltura, successiva a quella di qualsiasi altro cereale come orzo o grano, in questo modo il rendimento annuale del terreno potrebbe aumentare notevolmente (Vernelli V., 2010).

La lunghezza e 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<sup>14</sup> (Madia & Tofani, 1998).

---

*12 Fibra utilizzata per usi industriali diversi da quello tessile.*

*13 La fogliosità e il contenuto idrico della biomassa in questa fase sono però molto consistenti e rendono difficoltose le operazioni di taglio che quindi diversi agricoltori preferiscono posticipare di 15-20 giorni, sfruttando così la buona insolazione e la scarsità di piogge del periodo, in maniera da rendere più agevoli le successive operazioni.*

*14 E' preferibile un loro orientamento parallelo per agevolare la fase di estrazione della fibra nel caso avvenga con*

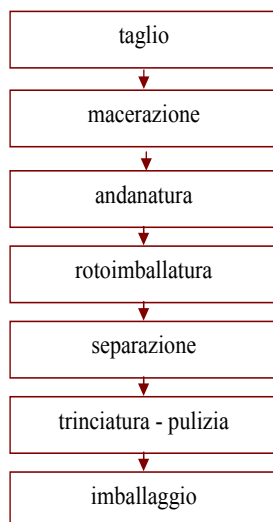


Fig. 2.6 Fasi di lavorazioni



Fig. 2.7 Operazioni di taglio sul campo



Fig. 2.8 Operazioni di rotoimballatura

### 2.2.1.2 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 10 e i 20 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).

### 2.2.1.3 Andanatura e rotoimballatura

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 (Vedi fig. 2.8).

### 2.2.1.4 Separazione di fibra e canapulo

Attualmente la fase di separazione<sup>15</sup> 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 metri, 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).

---

macchinari a rulli.

<sup>15</sup> La separazione della fibra dal canapulo è chiamata stigliatura quando le bacchette di canapa sono lavorate tenendole tra loro parallele in modo da ottenere "mannelle" di fibra ordinata, da passare alla pettinatura e poi alla filatura. Quando invece nel processo gli steli non sono tenuti ordinati, si parla di sfibratura o semplicemente di separazione.





Fig. 2.9 Impianto Assocanapa, modulo di alimentazione



Fig. 2.10 Impianto Assocanapa, modulo di separazione



Fig. 2.11 Impianto Assocanapa, modulo di pulizia

### 2.2.1.5 L'impianto di prima trasformazione

Il nuovo impianto di prima trasformazione disponibile oggi in Italia è stato brevettato da Assocanapa nel 2010.<sup>16</sup> Con questo macchinario vengono lavorate delle piante di canapa macerate in campo per 30-40 giorni, con un'umidità massima del 13% e una purezza minima del 98%.

La quantità di materia prima in entrata è di 6-8 quintali/ora e il risultato in uscita è del 20-25% di fibra corta, del 70-75% di canapulo e del 5 % di polvere.

Esso restituisce una fibra pulita al 90-95 % e un canapulo pulito all'87-95 %.

L'impianto è composto da tre moduli più sezione di comando: un modulo di alimentazione, un modulo di separazione e un modulo di pulizia.

Nel modulo di alimentazione le rotoballe vengono inserite per mezzo di un muletto o di un trattore con forche su di un pianale elevabile idraulicamente che è incernierato alla struttura principale del modulo. La rotoballa viene sfaldata da denti metallici. Man mano che cadono gli steli vengono convogliati nel modulo di separazione da un nastro trasportatore di gomma. Nel modulo di separazione gli steli estratti dal modulo di alimentazione vengono forzati entro un sistema costituito da un telaio perimetrale all'interno del quale sono alloggiati tre battitori e i relativi controbattitori. Nel primo battitore avviene una prima frammentazione degli steli di canapa ed una 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.

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 nastro trasportatore, convoglia il canapulo in un apposito serbatoio dal quale la materia prima viene trasportata 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.

---

<sup>16</sup> Successiva descrizione del procedimento e dati provenienti da Assocanapa.



Fig. 2.12 Ciclo della calce

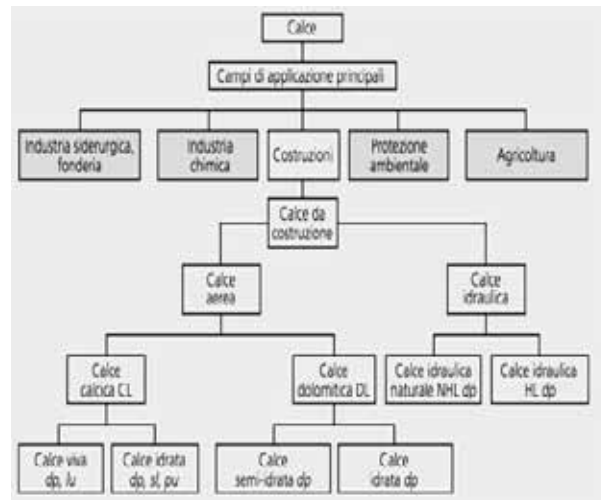


Fig. 2.13 Schema delle tipologie di calce, in accordo con la norma UNI-EN 459-1

### 2.2.1.6 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 (6, 8, 15 mm) e infine viene ancora depolverato e confezionato in big bag oppure in confezioni da 20 kg.<sup>17</sup>

## 2.2.2 LA CALCE

L'impiego della calce in edilizia ha una storia antica: reperti archeologici testimoniano il suo impiego fin dal 300 a.C. Essa è stata impiegata per edificare, decorare e proteggere i fabbricati, fino alla scoperta e la successiva diffusione del cemento (Ordinary Portland Cement (OPC)).

La caratteristica di durezza della calce è dimostrata dalla sopravvivenza di antiche strutture, tra le quali la Grande Muraglia cinese e il Pantheon a Roma (Bartley, 2008).

Essa ha un'elevata porosità e un'alta permeabilità al vapore, perciò garantisce la traspirabilità alle murature e grazie alle sue caratteristiche di igroscopicità e di antisetticità, assicura agli ambienti comfort e salubrità. La calce ha una minore conducibilità termica (0,08 W/mK) rispetto al cemento (2,3 W/mK) e la sua flessibilità meccanica, consente la creazione di piccole deformazioni senza incrinature (Miskin, 2010). Inoltre, la sua alcalinità (pH > 12) la protegge dalla formazione di muffe e scoraggia i roditori (Rhydwen, 2009b).

### 2.2.2.1 La produzione della calce

La calce aerea<sup>18</sup> viene prodotta dal calcare<sup>19</sup> attraverso un processo detto calcinazione in cui il calcare viene riscaldato gradualmente a 800-1000°C in appositi forni, portando alla liberazione di anidride

<sup>17</sup> Il macchinario di trinciatura è attualmente in sviluppo da parte di Assocanapa

<sup>18</sup> Idrossido di calcio, Ca(OH)<sub>2</sub>

<sup>19</sup> Il nome comune assegnato alla famiglia di rocce sedimentarie contenenti essenzialmente carbonati di calcio (CaCO<sub>3</sub>) e magnesio (MgCO<sub>3</sub>). L'origine dei calcari può essere chimica, organogena e clastica. Quella organogena, la più diffusa, deriva dalla deposizione su fondale marino di esoscheletri di organismi con guscio carbonatico, ad esempio, le melme costituite da globigerina coprono oggi il 37% del fondo del mare, circa il 25% della superficie terrestre (Rattazzi & Polidoro 2010).

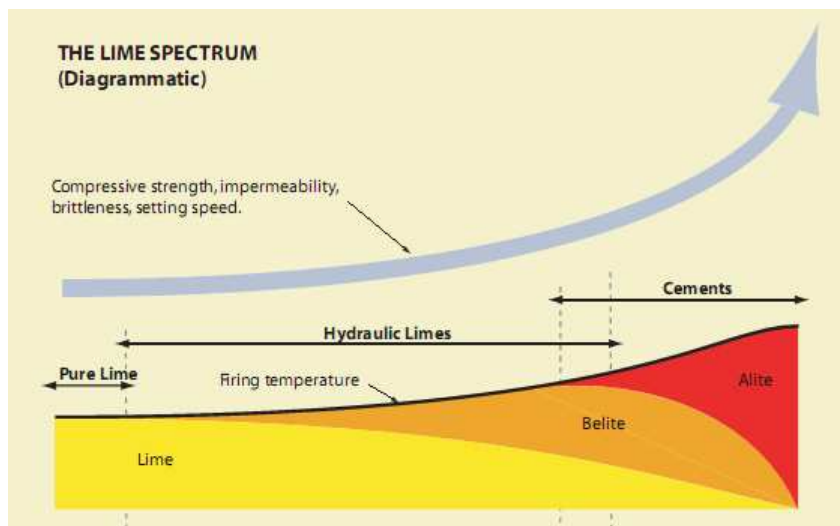


Fig. 2.14 The Lime Spectrum

carbonica e alla produzione dell'ossido di calcio o calce viva ( $\text{CaCO}_3 - \text{CO}_2 = \text{CaO}$ ). La calce viva ( $\text{CaO}$ ) ottenuta da tale processo non è utilizzabile direttamente in edilizia e all'uscita dai forni viene trasformata in calce spenta (o idrata), facendola reagire con acqua (idratazione,  $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} = \text{Ca}(\text{OH})_2$ ). Una volta che la calce si è essiccata, a contatto con l'anidride carbonica presente nell'atmosfera inizia un lento processo di carbonatazione che la trasforma in calcare, il composto originario dal quale è stata prodotta ( $\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{CO}_2 = \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ ). Tale processo è il ciclo della calce nel suo senso più puro (Busbridge, 2009).

### 2.2.2.2 La gamma delle calci

La calce area è situata ad una estremità dello schema della gamma di leganti a base di calce (fig. 2.14) che comprende anche le calci idrauliche, i cementi naturali, l'ordinary Portland cement (OPC) ed altri cementi artificiali; le proprietà fisiche variano prevedibilmente da un'estremità all'altra.

Calci idrauliche naturali (NHL) sono prodotte dal calcare contenente delle impurità di silice e alluminio presenti nell'argilla. Tali impurità si stabilizzano inizialmente attraverso una reazione chimica tra l'argilla reattiva e la calce e il processo viene completato dalla carbonatazione. È questa reazione chimica (l'idratazione), in presenza di acqua, tra la calce e i composti a base di silicio nell'argilla che produce le proprietà cementizie che distinguono la calce pura dal cemento. Le calci NHL sono valutate in base alla loro idraulicità<sup>20</sup> che dipende dalla quantità di impurità reattive<sup>21</sup> nel calcare.

Ordinary Portland Cement (OPC) è sostanzialmente prodotto dalla cottura di calcare insieme al silice<sup>22</sup> a  $1450^\circ\text{C}$  per formare il clinker di cemento Portland, che consiste principalmente di silicati di calcio alite e belite.<sup>23</sup>

<sup>20</sup> Calce area (argilla <6%), naturale debolmente idraulica (argilla 6-12%) NHL 2, naturale moderatamente idraulica (12-18% argilla) NHL 3.5, naturale eminentemente idraulica (argilla% 12-25) NHL 5, cemento naturale (25-55% di argilla) (Ratcliff & Orton, 1998) (GreenSpec, 2007).

<sup>21</sup> Principalmente argilla; argilla è composta in gran parte in alluminio silicato

<sup>22</sup> Silice = anidride silicica,  $\text{SiO}_2$

<sup>23</sup> Alite =  $(\text{CaO})_3\text{SiO}_2$ , belite =  $(\text{CaO})_2\text{SiO}_2$ . L'alite si idrata rapidamente e pertanto è il principale responsabile della resistenza meccanica iniziale del cemento Portland, mentre il belite ha un'idratazione lenta ed è pertanto il maggior responsabile dell'aumento della resistenza meccanica a lunga scadenza.

Come illustrato in figura 2.14, man mano che ci si sposta dall'estremità destra dello schema, verso i cementi, vi è un aumento della resistenza alla compressione e della velocità dell'idratazione del materiale, con una corrispondente riduzione della permeabilità e della flessibilità. Inoltre, per ottenere un'idratazione più rapida e più idraulica (chimica) è possibile aggiungere della pozzolana a qualsiasi dei leganti.<sup>24</sup>

Analogamente, man mano che ci si sposta verso destra dello spettro, il processo di produzione dei leganti richiede temperature più elevate di cottura ed è più probabile che richieda anche la macinazione meccanica. Pertanto i cementi moderni, estremamente resistenti, a destra dello schema presentano superiore energia incorporata rispetto ai leganti all'altra estremità della scala e sono associati con un aumento delle emissioni di CO<sub>2</sub>, tuttavia tali cementi resistenti e impermeabili si idratano molto rapidamente e permettono la costruzione anche nei casi più estremi (Busbridge, 2009).

### 2.2.2.3 Energia incorporata e bilancio di CO<sub>2</sub>

La calce ha un alto impatto ambientale dovuto al processo della sua produzione, comunque non superiore ad altri leganti utilizzati in edilizia (ad esclusione dell'argilla cruda). Inoltre, la calce presenta un valore relativamente alto di energia incorporata (800 Kg/t) a causa della lavorazione del calcare svolta in impianti industriali che utilizzano combustibili fossili e richiedono il trasporto del materiale dalle cave al punto di utilizzo. I consumi energetici per la produzione della calce rappresentano fino al 50% dei costi totali di produzione e l'80% delle emissioni di CO<sub>2</sub> è legata ai processi produttivi. Il processo di produzione della calce consiste nella cottura del carbonato di calcio in modo da liberare anidride carbonica e ottenere l'ossido derivato. L'energia termica richiesta per la trasformazione chimica del calcare genera un'emissione di CO<sub>2</sub> per combustione. Di conseguenza, la produzione di CO<sub>2</sub> nel processo di produzione della calce avviene:

- attraverso trasformazione chimica del calcare in calce, emissione per processo;
- attraverso la combustione di metano o altri tipi di combustibili nei forni da calce, emissione per combustione.<sup>25</sup>

La dimensione del fenomeno delle emissioni in atmosfera è variabile a seconda della dimensione di impresa: negli impianti di produzione della calce di grandi dimensioni si raggiungono le 1.000 tCO<sub>2</sub>/giorno, mentre negli impianti di piccole dimensioni le emissioni sono circa di 500 tCO<sub>2</sub>/giorno.<sup>26</sup>

La decarbonatazione del calcare produce circa 600 kgCO<sub>2</sub>/t di calce viva, a seconda della qualità del calcare e del grado di calcinazione. La quantità di CO<sub>2</sub>, prodotta dalla combustione dipende dalla composizione chimica del combustibile e dal forno; generalmente essa varia nel range 200-400 kgCO<sub>2</sub>/t di calce viva.<sup>27</sup>

In ogni caso, confrontando le emissioni di CO<sub>2</sub> derivanti dal processo di produzione della calce e quelle

---

*24 Le pozzolane sono costituite essenzialmente da biossido di silicio reattivo e ossido di alluminio e in minima parte da altri ossidi come l'ossido di ferro.*

*25 Dato il loro elevato costo energetico gli impianti da calce sono in continua evoluzione alla ricerca dei migliori rendimenti a minori consumi di combustibile e di energia elettrica. Alcuni vecchi impianti sono stati modificati con l'intento di ridurre il consumo energetico. Tali interventi sono consistiti sia in modifiche di scarsa rilevanza – per esempio, l'installazione di scambiatori di calore per recuperare il calore in eccesso presente nei gas del forno o per permettere l'uso di una più vasta gamma di combustibili – fino a interventi sostanziali sulla configurazione del forno.*

*26 Associazione dell'industria Italiana della Calce, del Gesso e delle Malte*

*27 Da una ricerca svolta dal Gruppo Tecnico Ristretto "Produzione di cemento e altre attività di prodotti minerali" nominato dalla Commissione istituita con Decreto Ministeriale del 19 novembre 2002.*

Materiale	Kg di CO <sub>2</sub> / t di legante				
	Emissioni durante la cottura	Emissioni da decarbonatazione	Totale emissioni durante la produzione	CO <sub>2</sub> riassorbita	Percentuale riassorbita
CL 90	308	564	872	535	61%
NHL 2	300	528	828	445	53%
NHL3,5	256	350	606	270	44%
NHL5	275	360	635	220	34%
Cemento	403	416	819	/	≈ 0%

Tab. 2.1 Emissioni di CO<sub>2</sub> per tipo di legante (www.stastier.co.uk- St. Astier pure and natural hydraulic lime)

del cemento (Tabella 2.1) si evince che il paragone è a favore della prima, sia per la CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> emessa durante la produzione (le calce idrauliche invece, possono riassorbire un massimo di 55% della CO<sub>2</sub> emessa)<sup>28</sup>, a condizione che essa sia completamente carbonata. Il processo della carbonatazione può richiedere anni per completarsi interamente.

## 2.3 COSTRUZIONE IN LEGNO

La gamma di esperienze attuali di costruzione con il calcecanapulo concerne essenzialmente opere con ossatura in legno. Il legno costituisce un materiale con alto profilo ecologico e si sposa perfettamente con le caratteristiche del calcecanapulo, oltre ad essere di facile lavorazione ed assemblaggio. La sua caratteristica di assemblabilità a secco inoltre migliora l'affidabilità ed economicità della posa in opera e garantisce la pulizia esecutiva e del cantiere.

Anche dal punto di vista antisismico il legno presenta delle buone caratteristiche, da pochi anni riconosciute anche dalla normativa italiana (Ordinanza n. 3274).

Grazie alla sua flessibilità si presta bene a attutire i colpi scaricando energia. In particolare le strutture in legno realizzate con il sistema "a telaio e pannelli" hanno dimostrato un'alta resistenza in caso di evento sismico grazie alle caratteristiche del legno appena richiamate ma anche grazie al sistema di fissaggio per mezzo di viti e bulloni che ne garantiscono la integrità anche di fronte a questi fenomeni. Queste sono le ragioni per le quali il legno viene prediletto per l'abbinamento con le tecniche costruttive in calcecanapulo. Tuttavia l'utilizzo di altri tipi di ossatura è senza dubbio possibile, ma necessiterebbe di un adattamento del metodo (Construire en Chanvre, 2008).

### 3.3.1 DIFFUSIONE IN ITALIA

La diffusione della tecnica costruttiva del calcecanapulo in Italia dovrebbe contribuire a una contemporanea spinta allo sviluppo del legno come materiale strutturale. Come è noto l'uso di legno strutturale

<sup>28</sup> Solo le emissioni di calcinazione sono riassorbiti, non emissioni di processo.

in Italia è attualmente marginale, ma va ricordato che il suo impiego come materiale strutturale era prassi consolidata fino alla fine dell'Ottocento.

In questo periodo, l'introduzione dell'acciaio e del cemento armato ne hanno segnato il progressivo regresso, limitandone l'impiego a pochi campi come l'ingegneria naturalistica o ad applicazioni leggere come le serre o per impieghi marginali quali le cassaforme.

Tale declino è stato molto più marcato in Italia che nelle altre nazioni europee; in Scandinavia, ad esempio, non è mai cessato, mentre nell'America settentrionale si è continuato ad utilizzarlo in maniera estensiva, specialmente nell'edilizia civile.

Solo il recente sviluppo della progettazione architettonica e di nuove tecniche costruttive, nonché l'approfondimento dell'analisi strutturale e della resistenza alla combustione del legno, unitamente all'introduzione di nuovi prodotti preservanti dal degrado e dagli insetti, ha consentito di riappropriarsi delle innumerevoli possibilità architettoniche, della piacevole natura estetica e della compatibilità con i criteri dello sviluppo sostenibile che una struttura in legno può offrire.

Oggi in Italia importanti istituti, come l'IVALSA (Istituto per la Valorizzazione del Legno e delle Specie Arboree) e il CNR (Consiglio Nazionale delle Ricerche), operano nel campo della ricerca scientifica per la valorizzazione del legno strutturale.

Secondo un recentissimo studio dell'IVALSA, tutte le aziende italiane del settore intervistate forniscono una stima positiva del mercato, con una crescita del 15%. I minori tempi di realizzazione, la sicurezza tecnica di prodotti ed elementi prefabbricati, il risparmio energetico e non per ultimo l'estetica del materiale, sono sicuramente argomenti a favore del legno, come conferma il 75% dei progettisti intervistati. Un quarto di questi è ancora però scettico soprattutto per la mancanza di una competenza progettuale adeguata.<sup>29</sup>

I prodotti e gli elementi costruttivi derivati dal legno attualmente utilizzati in Italia nelle opere da costruzione possono essere di vario tipo ma derivano tutti dalla segagione, dalla sfogliatura e trinciatura, dalla sminuzzatura o dalla sfibratura del fusto di alberi di abete rosso, di pino, di larice o di castagno, che rappresentano le specie arboree più utilizzate ai fini strutturali dell'arboricoltura italiana.

Dalla squadratura meccanica del fusto possono essere ricavati sia elementi monolitici con sezioni rettangolari aventi diversi rapporti di larghezza e altezza, sia elementi sottili come tavole, listelli o morali. Gli elementi sottili possono poi essere uniti fra loro con una specifica colla, con viti o con collegamenti realizzati in acciaio da carpenteria, per dar luogo ad un elemento monolitico ricomposto. Assemblando più elementi è possibile costruire il telaio portante di una unità abitativa o di un intero edificio.

Con l'entrata in vigore definitiva del Decreto Ministeriale recante le nuove Norme Tecniche per le Costruzioni, a partire da aprile 2007, ogni elemento costruttivo strutturale derivato dal legno, come tutti gli altri prodotti strutturali, dovrà riportare un marchio CE (marcatatura CE ai sensi della 89/106/CE) per poter essere immesso sul mercato italiano, ed europeo, e per poter essere accettato dal direttore dei lavori all'ingresso in cantiere.

### **3.3.2 LA NORMATIVA**

Il legno strutturale è soggetto al rispetto delle normative tecniche vigenti in Italia, siano esse determinate a livello nazionale o recepite dalla Comunità Europea (vedi Tabella 2.2).

---

<sup>29</sup> Da Assolegno [www.federlegnoarredi.it](http://www.federlegnoarredi.it)

Norme CEN riguardanti il legno strutturale	
EN 14080	Glued laminated timber
EN 14081	Strength grades structural timber with rectangular cross section
EN 15228	Structural timber preservative treated against biological attacks
EN 14250	Product requirements for prefab. structural members assembled with punched metal plate fasteners
EN 14374	Structural laminated veneer
EN 14732	Prefab. structural wall, floor and roof elements
EN 14229	Wood Poles
EN 14545	Connectors
ETAG 007	Timber prefabricated building kits
ETAG 011	Light composite wood-based beams and columns
ETAG 012	Log prefabricated building kits
ETAG 015	Three dimensional nailing plates

Tab. 2.2 Normativa CEN su legno strutturale

Norme CEN recepite in Italia	
UNI EN 14080:2005	La norma specifica i requisiti per il legno lamellare incollato utilizzato nelle strutture portanti. La norma fornisce anche la metodologia per la valutazione di conformità e la marcatura del legno lamellare incollato.
UNI EN 14081-1:2006	La norma specifica i requisiti per la classificazione a vista e a macchina del legno strutturale con sezione rettangolare.
UNI EN 14250:2005	Requisiti di prodotto per elementi strutturali prefabbricati assemblati con elementi di collegamento di lamiera metallica punzonata.
UNI EN 14374:2005	La norma specifica i requisiti per pannelli LVL per applicazioni strutturali. La norma fornisce i metodi da utilizzare per la valutazione della conformità e del contenuto della marcatura da applicare sui prodotti.

Tab. 2.3 Normativa Italiana su legno strutturale

### 2.3.3 SISTEMI COSTRUTTIVI IN LEGNO

In seguito vengono descritti i diversi tipi di struttura portante in legno, applicabili alla costruzione in calcecanapulo.

Nella letteratura tecnica si incontrano diversi modi di suddividere i vari tipi di costruzioni di legno. Una categorizzazione di base può essere fatta tra costruzioni di tipo leggero e costruzioni di tipo massiccio. Bisogna tenere presente che la denominazione di un tipo di costruzione di legno è sostanzialmente correlata alla struttura portante delle pareti. La differenza fondamentale tra questi due sistemi costruttivi risiede nel fatto che, nella realizzazione di tipo massiccio, lo strato isolante è separato dalla struttura portante mentre, nelle costruzioni di legno di tipo leggero, isolamento e struttura portante si trovano nello stesso piano. Alle tecniche costruttive in calcecanapulo possono essere abbinati i seguenti tipi di struttura in legno:

1. Sistema costruttivo ad ossatura portante di legno (Holzskelettbauweise)
2. Sistema costruttivo a traliccio di legno (Fachwerkbau)
3. Sistema costruttivo ad intelaiatura di legno (Holzrahmenbau)

Nel **sistema ad ossatura portante** travi e pilastri sono disposti a grande interasse per permettere una ampia libertà nel disegno delle facciate e delle pareti divisorie. Sopra o in mezzo alla struttura portante principale sono inseriti gli elementi portanti secondari. Essi possono essere travi e puntoni o elementi di tipo piano di legno compensato di tavole (per luci ridotte anche pannelli a base legno). In questo caso il calcecanapulo viene applicato con l'inserimento di una struttura secondaria di montanti tra la struttura principale e necessita comunque del sistema in legno di controventatura.

La principale distinzione tra questo tipo di struttura e quelle intelaiate è che in questo caso vi è una netta distinzione tra gli elementi portanti e di tamponamento e i carichi vengono assorbiti da elementi di tipo lineare. Nei sistemi intelaiati invece la struttura e i tamponamenti lavorano insieme, comportandosi come un'unica lastra. Per questo sistema, in fase progettuale si sceglie solitamente un modulo di base e quindi il reticolo ottenuto come multiplo di questo modulo. Tale reticolo viene determinato soprattutto in base all'utilizzazione degli spazi, alle dimensioni dell'edificio e dei locali, all'organizzazione architettonica e ai desideri del committente. Le dimensioni del modulo di base possono essere definite in base alle esigenze più varie legate al singolo fabbricato secondo le priorità che ci si è posti, ma le dimensioni consuete del reticolo sono: 120/120 cm, 120/360 cm, 125/125 cm, 360/360 cm, 480/480 cm.

Le luci libere nelle direzioni portanti principale e secondaria sono quindi un multiplo delle dimensioni del reticolo, che possono essere regolari o anche irregolari. A seconda del tipo di costruzione, le luci delle travi principali sono comprese tra 3,0 m e 8,0 m. Luci comprese tra 3,5 m e 5 m si sono rivelate economicamente convenienti in relazione ai carichi che normalmente agiscono su solai di edifici adibiti a civile abitazione o ufficio.

La differenza principale tra il sistema a traliccio e quello ad intelaiatura è che nel primo caso il controventamento dell'edificio avviene mediante diagonali in legno mentre nel secondo caso avviene mediante la formazione di lastre, ottenute solitamente tramite il fissaggio di pannelli di OSB o compensato, alla struttura.

Nel **sistema a traliccio** la distribuzione interna è più vincolata rispetto alla struttura ad ossatura portante e la disposizione rimane solitamente fissa per tutti i piani. In questa tecnica le connessioni



avvengono senza elementi meccanici di collegamento ma con incastri e sovrapposizioni. Gli elementi portanti sono di grandi dimensioni e a sezione quadrata. Questo tipo di struttura comporta tempi di realizzazione relativamente brevi e una facilità di realizzazione. Gli elementi di legno sono disposti ad interasse piccolo gli uni dagli altri. Inoltre nelle costruzioni a traliccio la trasmissione dei carichi verticali avviene direttamente mediante giunti a contatto.

Il calcecanapulo può essere utilizzato con tale sistema costruttivo per nuova costruzione o più comunemente viene introdotto nei tamponamenti di edifici storici costruiti con tale tecnica.

Mentre nelle costruzioni a traliccio e ad ossatura portante i carichi vengono assorbiti da elementi di tipo lineare, nelle costruzioni intelaiate ci si trova di fronte ad un sistema costruttivo a lastre, per il quale gli elementi portanti non sono separati da quelli di irrigidimento e tamponamento. La definizione di **“costruzione intelaiata di legno”** deriva dall’inglese *“timber frame”*, ossia telaio di legno. Il telaio, costituito con montanti disposti a distanza piuttosto ravvicinata, viene normalmente rivestito con pannelli per costituire così una lastra. Vengono impiegate sezioni e materiali di rivestimento standard, connessi mediante semplici mezzi di collegamento come chiodi, cambrette e bulloni.

Le costruzioni intelaiate di legno comportano una limitata necessità di competenze tecniche a causa dell’utilizzo sistematico di sezioni di legno standard. Il reticolo con la disposizione dei montanti è normalmente determinato dalle dimensioni dei pannelli, di solito tra 55 e 70 cm (maglia di base di regola = 62,5 cm), il che evita lo spreco di resti di materiale. Gli edifici a struttura intelaiata di legno vengono di regola costruiti piano per piano, sistema *“platform frame”* oppure, occasionalmente, soprattutto negli Stati Uniti, vengono impiegati elementi di altezza pari a più piani, *“balloon frame”*.

I montanti assorbono generalmente i carichi verticali provenienti dalla copertura e dai solai di piano. Inoltre, quelli disposti lungo le pareti esterne assorbono anche i carichi orizzontali dovuti al vento agenti sulle pareti stesse. Essi possono essere dimensionati molto snelli, dato che il rivestimento ha anche funzione stabilizzante per loro. Il rivestimento assorbe essenzialmente i carichi agenti nel piano della lastra. Poiché le giunzioni dei pannelli devono essere realizzate sempre sui montanti, essi sono disposti ad interasse ridotto, di regola di 62,5 cm. Questa misura dipende dalle dimensioni dei materiali di rivestimento comuni sul mercato (larghezza pari a 125 cm), per minimizzare lo scarto. In caso di pannelli di altre dimensioni, il reticolo può essere variato. Le aperture possono essere previste, in linea di principio, ovunque sull’elemento di parete. Un’apertura non allineata con il reticolo viene delimitata da ulteriori montanti e da un architrave disposto su di essi. Adattando la progettazione a questo reticolo è possibile collocare le aperture in modo tale da non necessitare l’impiego di montanti non strettamente necessari.<sup>30</sup>

Il calcecanapulo abbinato a questa tecnica può essere di due tipi. Possono essere applicati ai montanti dei pannelli traspiranti e resistenti all’umidità dell’impasto in calcecanapulo, ai quali viene applicato il calcecanapulo a spruzzo. In questo caso i pannelli di irrigidimento e controventatura della struttura in legno diventano i casseri a perdere della miscela in calcecanapulo. Alternativamente è possibile che il calcecanapulo venga applicato a getto tra due casseri fissati ai due lati della struttura in modo da annegare la struttura al loro interno, diventando così insieme ai montanti una muratura monolitica. In questo caso, nonostante non sia esclusa la capacità del calcecanapulo di controventare, è necessario che ai montanti in legno vengano fissati dei controventi diagonali, perché non è ancora stata riconosciuta la capacità del calcecanapulo di esercitare l’azione di controventatura. (Construire en Chanvre, 2008).

---

30 Da Gerhard Schickhofer – Andrea Bernasconi – Gianluigi Traetta, *Costruzione di edifici di legno*.

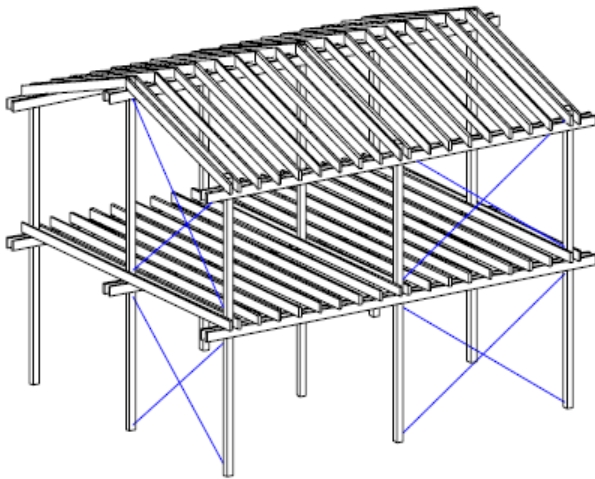


Fig. 2.15-2.16 Costruzioni ad ossatura portante di legno in edilizia residenziale

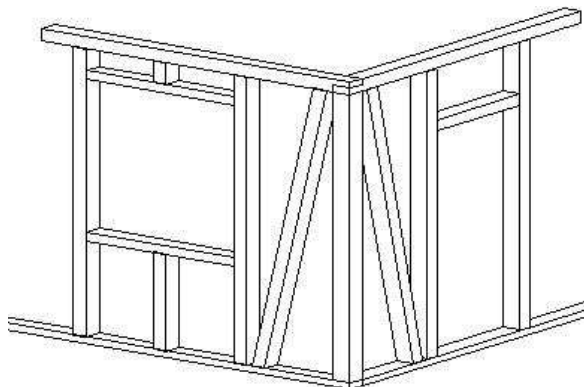


Fig. 2.17-2.18 Costruzioni a traliccio di legno in edilizia residenziale

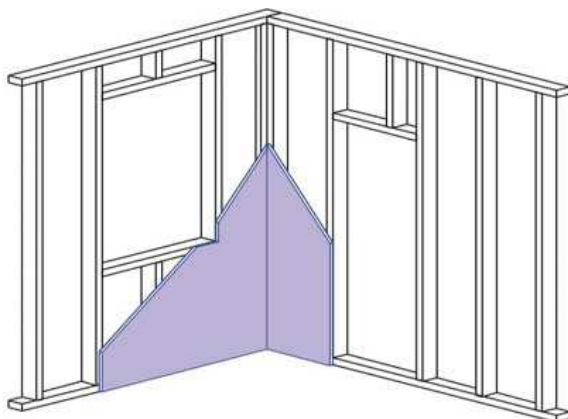


Fig. 2.19-2.20 Costruzioni ad intelaiatura in edilizia residenziale



Fig. 2.21-2.22 Balloon Frame e Platform Frame

## 2.4 LA MISCELA

Le mescole di calcecanapulo si differenziano molto, l'una dall'altra in base al loro metodo di elaborazione, ai loro ingredienti e ai relativi dosaggi. La consistenza dell'impasto è particolarmente determinante per le prestazioni dell'elemento costruttivo, per questo i dosaggi di acqua, canapulo e calce vengono combinati in base all'effetto desiderato.

Particolarmente influente sul comportamento fisico e chimico del materiale è la scelta del legante.

L'utilizzo di calce idrata, migliore dal punto di vista ambientale, comporta però dei tempi di essiccazione e di carbonatazione più dilatati che possono ostacolare le tempistiche del cantiere e rendere più rischiosa la fase di asciugatura, che va monitorata per avere la certezza che l'elemento in calcecanapulo sia soggetto a una ventilazione sufficiente.

La calce idraulica indurendosi a contatto con l'acqua, ha invece una reazione più veloce ed è per questo motivo da prediligere quando è necessario ridurre i tempi di essiccazione o quando l'asciugatura è più difficile. E' il caso di muri di tamponamento con spessori elevati e di riempimenti verticali tra pannelli rigidi traspiranti oppure tra murature in mattoni. Inoltre la calce idraulica conferisce una maggiore resistenza meccanica al getto una volta indurito.

Diverse sperimentazioni hanno dimostrato la buona riuscita, sia dal punto di vista della presa, che delle prestazioni meccaniche ed igrometriche, dell'uso di leganti composti in parte da calce idraulica e in parte da calce idrata. E' il caso del legante premiscelato certificato Tradical, a base di calce aerea, con aggiunta di calce idraulica e pozzolana.<sup>31</sup>

Nonostante i diversi effetti delle calci sull'asciugatura del materiale, il calcecanapulo ha comunque la caratteristica di essere un getto con una asciugatura lenta rispetto ad altri. Questo è dovuto alla natura igrometrica del canapulo, che non risulta mai completamente asciutto. Questa caratteristica comporta uno svantaggio rispetto ai tempi di asciugatura, ma è alla base del buon comportamento del calcecanapulo nei confronti dell'umidità interna dell'edificio, del suo carattere di regolatore igrotermico.

---

<sup>31</sup> Da *matériaux-ecologiques.kenzai.fr*

## 2.5 LE PROPRIETA' DELLA MISCELA DI CALCECANAPULO

### 2.5.1 TRASPIRABILITA' E SALUBRITA' DEGLI EDIFICI

I materiali convenzionali impiegati per isolare gli edifici (lana di vetro, lana di roccia, poliuretano, polistirene ecc.) sono stati sviluppati al fine di dare una certa ermeticità alle case per evitare le dispersioni di calore.

Nella maggior parte delle case costruite con tali materiali, è richiesto l'impiego di una barriera al vapore nella parte interna della parete, per evitare i fenomeni di condensazione. Tuttavia, alcune ricerche hanno dimostrato che con l'utilizzo di tale tecnica vi è maggiore probabilità di formazione di condensa all'interno della parete in corrispondenza dei picchi di umidità relativa (Rhydwen, 2009). Inoltre, si è rivelato che nel periodo estivo quando il vapore acqueo tende a spostarsi dall'esterno verso l'interno a causa delle alte temperature esterne, l'umidità relativa all'interno della parete aumenta e che il vapore viene intrappolato dentro il muro dalla barriera (Rhydwen, 2009). Questo può portare ad un deterioramento delle pareti e alla formazione di muffe negli spazi interni dell'edificio.

Negli ultimi anni, il tema della traspirabilità dei materiali ha acquisito un interesse sempre maggiore da parte del settore edilizio in quanto influisce sul comfort abitativo. I materiali isolanti traspiranti sono capaci di gestire la presenza dell'umidità riducendo la condensa e migliorando la qualità dell'aria interna degli edifici (Bevan & Woolley, 2008).

Una delle caratteristiche principali associate alla respirabilità di un materiale edile è l'igroscopicità, ovvero la sua capacità di assorbire o rilasciare il vapore acqueo presente nell'ambiente circostante in corrispondenza alle variazioni dell'umidità relativa dell'aria (Plamer, 2009). Data l'incostanza dei livelli di umidità dell'aria negli edifici, che nei picchi rischiano di superare il limite ammissibile del 70% (specialmente nelle cucine e nei bagni), è importante che le superfici interne (muri, solai e pavimenti) abbiano la capacità di assorbire la maggiore quantità di umidità possibile presente nell'aria e di restituirla all'ambiente, in un secondo momento, quando i valori ritornano a livelli inferiori (Rhydwen, 2009).

Altre due caratteristiche associate alla respirabilità e in particolare al fenomeno della condensa sono la permeabilità al vapore ( $\delta$ ), definita dalla velocità di diffusione del vapore attraverso un materiale<sup>32</sup> e la resistenza al vapore ( $\mu$ ) che indica quanto la resistenza al passaggio del vapore di un materiale è superiore a quella dell'aria a parità di spessore e di temperatura.<sup>33</sup>

Il calcecanapulo è considerato un materiale traspirante in quanto esso presenta un buon comportamento igrometrico grazie ai microscopici alveoli di cui è composto il tessuto del canapulo che gli conferiscono un potere di assorbimento pari a 5 volte il suo peso.<sup>34</sup> Tale natura igroscopica rende il calcecanapulo un regolatore di umidità, capace di assorbire l'umidità sovraccedente e restituirla all'occorrenza (Ronchetti, 2007).

Il coefficiente di assorbimento di acqua del materiale,  $A=0,075 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{vs})$ , gli permette di assorbire fino al 70% dell'umidità dell'aria quando l'umidità relativa supera il 90% (Evrard, 2006), senza il rischio di deterioramento del materiale, dato che la canapa è in grado di essiccare di nuovo (Bevan & Woolley, 2008). L'effetto complessivo è un ambiente che necessita di un minore condizionamento dell'aria.

---

<sup>32</sup> Più piccolo il parametro più permeabile il materiale.

<sup>33</sup> Più grande è il parametro, maggiore è l'impermeabilità al vapore.

<sup>34</sup> Assocanapa, [www.assocanapa.it](http://www.assocanapa.it)

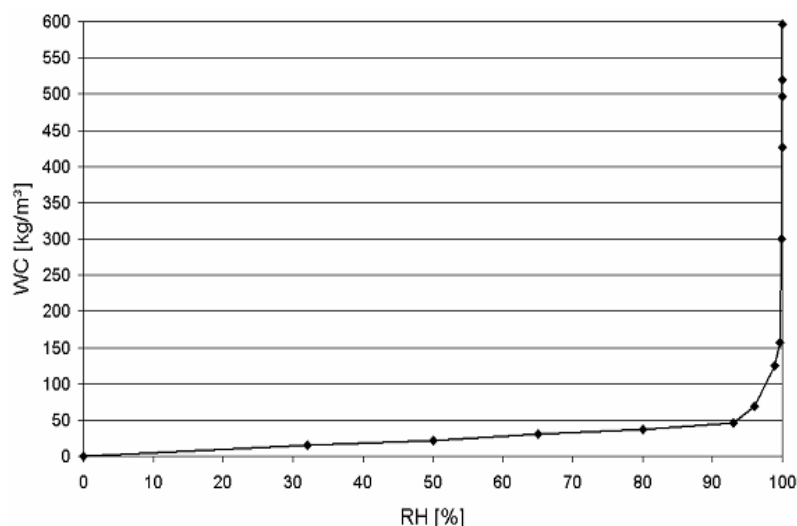


Fig. 2.23 Curva dell'umidità assorbita in una parete in calcecanapulo (Evrard, 2006)

L'alta porosità del calcecanapulo del 73%, (Evrard, 2008) e la sua alta permeabilità al vapore,  $\delta=15 \cdot 10^{-12}$  kg/msPa<sup>1</sup>, premettono di ridurre i fenomeni di condensazione. Inoltre, la tecnica di costruzione con calcecanapulo prevede la realizzazione di pareti omogenee (a differenza di quelle multistrato) con una bassa resistenza al vapore ( $\mu= 4,8$ )<sup>35</sup> che non necessitano dell'impiego di una barriera al vapore né la realizzazione di un'intercapedine d'aria per la ventilazione.

Riguardo al tema della salubrità degli edifici, il calcecanapulo in quanto materiale naturale non rilascia le emissioni volatili organiche (formaldeide, CO, NO<sub>2</sub>, benzene e naftalene) a differenza di isolanti sintetici e di prodotti contenenti adesivi, la cui presenza negli ambienti interni può risultare pericolosa (Bevan & Woolley, 2008).

Inoltre, grazie al contenuto di calce idrata, il materiale permette di sanificare l'aria degli ambienti interni attraverso la sterilizzazione del vapore acqueo che fuoriesce durante il processo di respirazione (Ronchetti, 2007).

Sono attualmente in elaborazione ricerche dirette<sup>36</sup> di controllo e monitoraggio sulla qualità dell'ambiente interna in edifici costruiti in calcecanapulo i cui risultati non sono ancora disponibili (Rhydwen, 2009).

## 2.5.2 LA PROPRIETA' PROTETTIVA DAL DEGRADO DEL LEGNO

Il legno è per natura soggetto a diversi tipi di degrado tra i quali quello biologico a causa di insetti o funghi (in presenza di umidità) e quello fisico di distruzione della struttura a causa di esposizione diretta agli agenti atmosferici.<sup>37</sup>

Il calcecanapulo è stato originariamente sviluppato per l'impiego di tamponamenti in combinazione con vecchi telai in legno, in opere di restauro di edifici storici, in quanto le sue proprietà sono in grado di proteggere il legno dal degrado.

<sup>35</sup> Equilibrium, [www.equilibrium-bioedilizia.it](http://www.equilibrium-bioedilizia.it)

<sup>36</sup> Valori calcolati per la miscela Tradical® Hemcrete®, [www.limetechnology.co.uk](http://www.limetechnology.co.uk)

<sup>37</sup> L'associazione BRE ha sviluppato un piano di gestione della qualità dell'aria interna, il cui uso viene consigliato ai progettisti. Ciò dovrebbe includere il monitoraggio della qualità dell'aria interna e una valutazione dei materiali da costruzione utilizzati (Bevan & Woolley, 2008)

Questa tecnica costruttiva prevede che il telaio di legno sia avvolto nel getto che gli conferisce un ambiente di protezione naturale dal deterioramento e dall'attacco degli insetti e parassiti.<sup>38</sup> L'uso della calce come materiale protettivo principale per il legno è un metodo antico, utilizzato per secoli in quanto la calce è un biocida naturale che fornisce una protezione da agenti patogeni biologici (Bevan & Woolley, 2008); inoltre la sua elevata alcalinità ( $\text{pH} > 12$ ) non favorisce la crescita di muffe e funghi. L'uso della calce nel corso della storia dimostra come essa sia particolarmente adatta per preservare le fibre naturali, proteggerle da ogni forma di infestazione e mantenere alti livelli di igiene (Equilibrium). La flessibilità meccanica della calce (Miskin, 2010) e l'elasticità del getto in calcecanapulo,  $E=20$  Mpa (Costruire en Chanvre, 2007), permettono i fenomeni di deformazione e ritiro del legno senza la formazione di crepe, garantendo una maggiore durabilità alla parete (Bevan & Woolley, 2008).

Inoltre, il telaio in legno è protetto anche dal degrado dovuto alla presenza di umidità grazie alla natura igroscopica della canapa che è in grado di assorbire il vapore acqueo presente nell'aria, eliminando il rischio di deterioramento del legno.

Sebbene finora, dai controlli condotti in centinaia di edifici costruiti in getto in calcecanapulo, non siano stati riscontrati danni dovuti ad infestazioni di organismi indesiderati, alla formazione di muffe e all'umidità, non sono ancora disponibili garanzie sull'aspettativa di vita del materiale (Bevan & Woolley, 2008).

## 2.5.3 LE PROPRIETA' TERMICHE

### 2.5.3.1 La conduttività e la trasmittanza del materiale

Il valore di conduttività del calcecanapulo può variare da 0,5 a 0,12 W/mK a seconda dei materiali e dei dosaggi utilizzati per la preparazione del getto, ovvero in base alla sua densità. La documentazione inglese si riferisce a un valore di conduttività di circa  $\lambda=0,09$  W/mK basandosi su una varietà di fonti di letteratura da varie ricerche condotte da produttori di calcecanapulo e centri scientifici (Bevan & Woolley, 2008). Si tratta di una stima prudente in quanto nei test effettuati al National Physical Laboratory è stato segnalato un valore migliore di 0,07 W/mK (Lime Technology, 2006). Secondo i risultati del Fraunhofer Institute per la Building Physics, la conduttività della miscela per la muratura<sup>39</sup> essiccata è di 0,115 W/mK (Evrard, 2006). I test di conduttività termica delle pareti per la casa di Ralph Carpenter in Suffolk effettuati presso l'University of Plymouth hanno portato a una lettura concordata di 0,08 W/mK (Bevan & Woolley, 2008).

Le regole professionali sulle tecniche della messa in opera a getto di murature francesi (Costruire en Chanvre, 2007) invece, indicano un valore  $\lambda=0,08$  W/mK per le pareti<sup>40</sup>,  $\lambda=0,1$  W/mK per i solai<sup>41</sup> e  $\lambda=0,06$  W/mK per le coperture.<sup>42</sup>

In Italia, i test condotti da Equilibrium hanno condotto a un valore di conduttività di 0,053 W/mK per la loro miscela leggera 1:1. Equilibrium dichiara invece una conduttività termica di  $\lambda=0,07$  W/mK sia per il suo getto che per il suo blocco prefabbricato in calcecanapulo (Biomattone®)<sup>43</sup>.

In base a tali valori  $\lambda$  misurati per il calcecanapulo, i valori U sono inferiori alla soglia attuale prevista dai

---

38 Manuale tecnico del Promo\_Legno, [www.promolegno.com](http://www.promolegno.com)

39 Il legno potrebbe risultare protetto anche senza ulteriori trattamenti chimici (Bevan & Woolley, 2008).

40 Dato riferito a una miscela Tradical pf 70® Canvribat® 1:1,7 (Evrard, 2006)

41 Dato riferito a una miscela per murature Tradical 70® Canvribat® 1:2,2 (Costruire en Chanvre, 2007)

42 Dato riferito a una miscela per solai Tradical 70® Canvribat® 1:2,75 (Costruire en Chanvre, 2007)

43 Dato riferito a una miscela per coperture Tradical 70® Canvribat® 1:1 (Costruire en Chanvre, 2007)

Elemento costruttivo	$\lambda$ Conducibilità termica [W/mK]	Valore U [W/m <sup>2</sup> K]				Limite Valore U [W/m <sup>2</sup> K]
		200 mm	300 mm	400 mm	500 mm	
Muratura	0,08	0,4	0,26	0,2	0,16	0,33
Copertura	0,06	0,3	0,2	0,15	0,12	0,29
Solaio	0,1	0,5	0,33	0,25	0,2	0,32

Tab. 2.4: Valori-U dei diversi elementi costruttivi in base della loro spessore (Dati disponibili al BRE Hemp Houses Project, [www.bre.co.uk](http://www.bre.co.uk)).

regolamenti edilizi Italiani (per la zona F, ovvero la più restrittiva) come mostrato in Tabella 2.4. Sul tema della trasmittanza termica del calcecanapulo, è interessante osservare i risultati ottenuti dalla BRE, in seguito a uno studio condotto nel 2002 ad Haverhill<sup>44</sup>, dove sono state messe a confronto case costruite con una tecnica tradizionale (struttura in cemento con tamponamento in mattoni forati) con case realizzate in getto in calcecanapulo (con pareti esterne spesse 200 mm), per un periodo di più di otto mesi. Il valore U dell'edificio costruito in calcecanapulo è risultato più alto di quello misurato nell'edificio standard, nonostante presentasse una temperatura media interna superiore di 2°C rispetto a quella riscontrata nell'edificio tradizionale, pur avendo consumato lo stesso quantitativo di combustibile. Questo risultato indica che il valore U non è l'unico valore da stimare per la valutazione delle trasmissioni termiche di un edificio. Il calcecanapulo ha ad esempio il vantaggio di limitare al minimo la possibilità di formazione di ponti termici, una delle possibili ragioni di dispersione termica maggiore da parte dell'edificio costruito con tecniche convenzionali (Bevan & Woolley, 2008).

### 2.5.3.2 Tenuta d'aria

Con l'utilizzo del getto in calcecanapulo si può evitare la formazione di ponti termici grazie alla natura omogenea del materiale. Il getto in calcecanapulo può essere posato in continuità permettendo la realizzazione di punti di giunzione tra pareti, pavimenti e coperture con un materiale isolante unico (Bevan & Woolley, 2008).

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

### 2.5.3.3 Inerzia termica

Generalmente, nonostante la loro buona resistenza termica i materiali sintetici di isolamento sono leggeri e hanno una bassa massa termica, perciò non sono capaci di immagazzinare il calore, e quando si verifica uno sbalzo termico, essi permettono il flusso di calore con una rapidità notevole (Bevan & Woolley, 2008).

Il calcecanapulo invece è un materiale leggero ( $\rho=250-500 \text{ kg/m}^3$ ) con le caratteristiche di un materiale più pesante, capace di isolare e accumulare il calore (con una capacità termica di  $1500-1700 \text{ J/kgJ}$ )<sup>45</sup>; è la sua proprietà di igroscopicità ad aiutare il mantenimento di temperature stabili negli edifici, e ad aumentarne l'inerzia termica.

Quando il getto in calcecanapulo viene esposto al sole si scalda in modo molto limitato, e quando la

<sup>44</sup> Dati disponibili al BRE Hemp Houses Project, [www.bre.co.uk](http://www.bre.co.uk)

<sup>45</sup> Tradical® Hemcrete® per getto con densità  $\rho=275 \text{ kg/m}^3$  (Lime Technology, 2006)

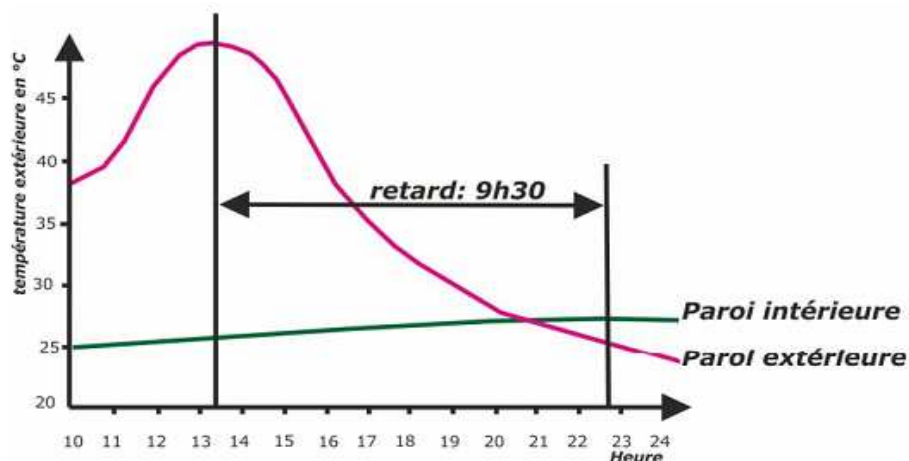


Fig. 2.24 Diagramma dello sfasamento termico di una parete costruita con il sistema Easychanvre

temperatura esterna scende è in grado di rilasciare il calore bilanciando la differenza di temperatura tra ambiente interno ed esterno. Questa proprietà viene anche confermata dal test BRE ad Haverhill<sup>46</sup> (Ronchetti, 2007).

Queste capacità consentono al materiale di rispondere alle condizioni ambientali in modo molto più efficace e permettono di equilibrare le variazioni termiche e quelle dell'umidità.

La parete realizzata con il sistema costruttivo Francese Easychanvre presenta uno sfasamento termico di  $\Phi=9,5$  ore (figura 2.24) per una parete di 30 cm di spessore.<sup>47</sup>

Equilibrium, segna uno sfasamento termico di  $\Phi=16$  ore per una parete di 40 cm di spessore in calcecanapulo (Natural Beton) con intonaco di finitura interna ed esterna in sabbia e calce.<sup>48</sup>

Ulteriori studi sulle capacità termiche del calcecanapulo sono attualmente in atto.

## 2.5.4 LE PROPRIETÀ ACUSTICHE

Un importante elemento del comfort interno delle abitazioni è il tema dell'isolamento acustico. Oltre ai rumori provenienti da strade, ferrovie, industrie, cantieri vicini, aeroporti, ecc., che rappresentano un problema notevole per molti edifici, sono molto diffusi gli elementi di discomfort legati a rumori prodotti all'interno degli edifici stessi. I disturbi principali, dovuti al rumore di calpestio e alla riverberazione, vengono trasmessi, oltre che tramite i solai, anche tramite le pareti e le strutture portanti.

### 2.5.4.1 Potere fonoisolante

La maggior parte dei materiali da costruzione tradizionalmente impiegati (mattoni forati, mattoni pieni, calcestruzzo ecc.) hanno valori fonoassorbenti bassi e richiedono l'impiego di uno strato aggiuntivo di isolamento acustico. Il problema della trasmissione delle onde sonore viene perciò affrontato con l'inserimento di tappeti fonoassorbenti nei solai e di pannelli isolanti nelle pareti. Nella costruzione in calcecanapulo non è invece necessario l'inserimento di alcuno strato fonoassorbente ulteriore, perché la natura porosa del calcecanapulo stesso lo rende un buon isolante acustico.

<sup>46</sup> Dati disponibili al BRE Hemp Houses Project, [www.bre.co.uk](http://www.bre.co.uk)

<sup>47</sup> Easychanvre, [www.easychanvre.fr](http://www.easychanvre.fr)

<sup>48</sup> Dato riferito alla miscela Natural Beton 1:2,2 (secondo ISO 13786) [www.equilibritum-bioedilizia.it](http://www.equilibritum-bioedilizia.it)



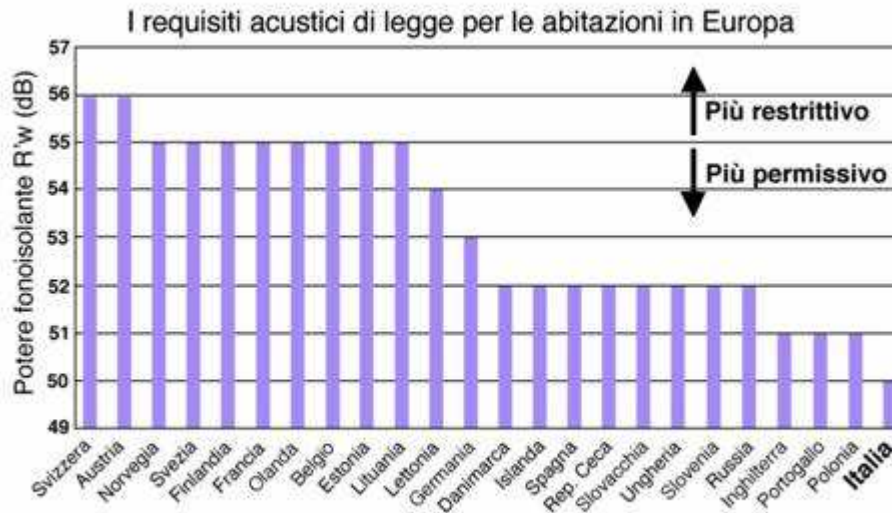


Fig. 2.25 I requisiti acustici per le abitazioni in Europa da Campolongo G.(2008) L'isolamento acustico nelle abitazioni.

È stato stimato che una parete in calcecanapulo di 300-400 mm<sup>49</sup> possiede un potere fonoisolante di circa 57 dB, (Bevan & Wolley, 2008) valore decisamente superiore al limite normativo italiano di 50 dB (D.P.C.M., del 5/12/97) e superiore a qualsiasi limite normativo europeo come si può vedere in figura 2.25. L'omogeneità degli elementi architettonici realizzati in calcecanapulo consiste quindi anche da questo punto di vista in un vantaggio, semplificando la costruzione, eliminando la necessità di inserimento di uno strato fonoisolante.

Nello studio della BRE (2002), effettuato ad Haverhill nel confronto tra case costruite in calcecanapulo con case identiche realizzate in materiali convenzionali, sull'edificio di nuova costruzione in calcecanapulo, è stato rilevato un potere fonoisolante delle pareti in getto di 20 cm pari a 57 dB, superiore quindi al valore limite della normativa ma inferiore al valore rilevato per le pareti in mattoni dell'edificio standard, ovvero di 64 dB.<sup>50</sup>

L'ENTPE<sup>51</sup> francese sostiene che il calcecanapulo essendo un materiale molto poroso dovrebbe avere il vantaggio di fornire all'edificio una grande superficie di assorbimento del suono e sta svolgendo degli studi ulteriori sul suo potere fonoisolante, con l'idea che i valori potrebbero risultare maggiori di quelli ottenuti dalla BRE ad Haverhill (Bevan & Wolley 2008).

Equilibrium, dichiara per la sua miscela Natural Beton un potere fonoisolante che va da 50 a 61 dB, per spessori da 100 a 400 mm.

Per quanto riguarda i mattoni prefabbricati francesi invece, Easychanvre indica per i suoi mattoni forati di 30 cm di spessore un valore fonoisolante di 52 dB e Chanvriblock un valore tra 50 e 59 dB per blocchi con spessore da 100 a 300 mm.

<sup>49</sup> Valori calcolati per la miscela Tradical® Hemcrete

<sup>50</sup> Va considerato però che questo studio è stato effettuato su pareti di 20 cm e che gli spessori impiegati normalmente con calcecanapulo, per il raggiungimento di prestazioni migliori è di 30 o anche 40 cm.

<sup>51</sup> L'ENTPE (Ecole Nationale Des Travaux Public De L'Etat) in Vaux en Velin in Lyon. [www.entpe.fr/default.htm](http://www.entpe.fr/default.htm).

#### **2.5.4.1 Assorbimento acustico**

Il calcecanapulo, grazie alla sua elevata porosità ha un valore di assorbimento acustico alto, ovvero dello 0,8 (valore condiviso sia da Equilibrium che da Chanvribloc), è cioè capace di assorbire l'80 % dell'energia acustica incidente.

#### **2.5.5 RESISTENZA AL FUOCO**

Sono stati realizzati diversi test sulla resistenza al fuoco del calcecanapulo sia in Francia che in Regno Unito e dai risultati si evince che il suo carattere "pietoso" lo rende resistente al fuoco senza la necessità di alcun trattamento con sostanze chimiche antifiamma. E' classificato come "resistente alla fiamma" senza rilascio di fumi tossici o infiammabili, e rientra nella categoria A1 secondo la norma europea UNI EN 13501-1 sulla classificazione al fuoco dei prodotti e degli elementi da costruzione<sup>52</sup> (vedi tabella).

La BRE ha rilevato per un muro in getto realizzato con la calce premiscelata Tradical in proporzione 2:1 (canapulo : calce) una resistenza al fuoco di 73 minuti. Mentre per una parete in blocchi da 30 cm realizzati con miscela Tradical 2:1 e fissati con malta di calce ha stimato una resistenza di 90 minuti.

Chanvribloc indica invece una resistenza al fuoco dei suoi blocchi da 30 cm di 120 minuti.<sup>53</sup>

L'unico caso in cui è necessario un trattamento antifiamma è quello del canapulo sfuso (Bevan & Wolley 2008).

Dai test sviluppati in Francia dal CSTB (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment) su una parete di 250 mm di spessore in blocchi in calcecanapulo con malta di calce è risultata l'assenza di emissioni tossiche e una durata della parete intatta di 1 ora e 40 minuti senza il cedimento dei blocchi. Ha invece ceduto lo strato di malta di calce, il che ha fatto pensare che con una parete in getto in calcecanapulo non vi sarebbe probabilmente stato alcun cedimento (Bevan & Wolley 2008).

### **2.6 L'IMPATTO AMBIENTALE DEL CALCECANAPULO**

Trattandosi di un materiale composto da un aggregato vegetale e di un legante ottenuto dalla lavorazione di un elemento minerale il bilancio degli impatti del calcecanapulo sull'ambiente è un argomento articolato. Attualmente sono in fase di sviluppo diverse ricerche sul tema. In Inghilterra, la Lime Technology Ltd ha condotto uno studio, sulle emissioni di CO<sub>2</sub> del getto in calcecanapulo 1:2,2 (calce Tradical HF, canapulo Tradical HB) con l'obiettivo di ottenere un valore che sia un bilancio tra le emissioni di CO<sub>2</sub> dovute alla sua produzione e il riassorbimento di CO<sub>2</sub> effettuato dal materiale durante la sua vita utile. Da questo studio è risultato che 1 m<sup>3</sup> di calcecanapulo può riassorbire fino a 100 kg di CO<sub>2</sub>.

Il calcecanapulo è risultato quindi essere un materiale "carbon negative" ovvero capace di riassorbire più CO<sub>2</sub> di quella emessa in atmosfera per la sua produzione. Il valore totale di emissioni di CO<sub>2</sub> prodotte da 1 m<sup>2</sup> di muro in calcecanapulo con spessore di 300 mm, indicato dalla Lime Technology Ltd è di -33 CO<sub>2</sub> kg (Bevan & Woolley).

---

<sup>52</sup> Il banco della calce, [www.bancadellacalce.it](http://www.bancadellacalce.it)

<sup>53</sup> Chanvribloc, [www.chanvribloc.com](http://www.chanvribloc.com)

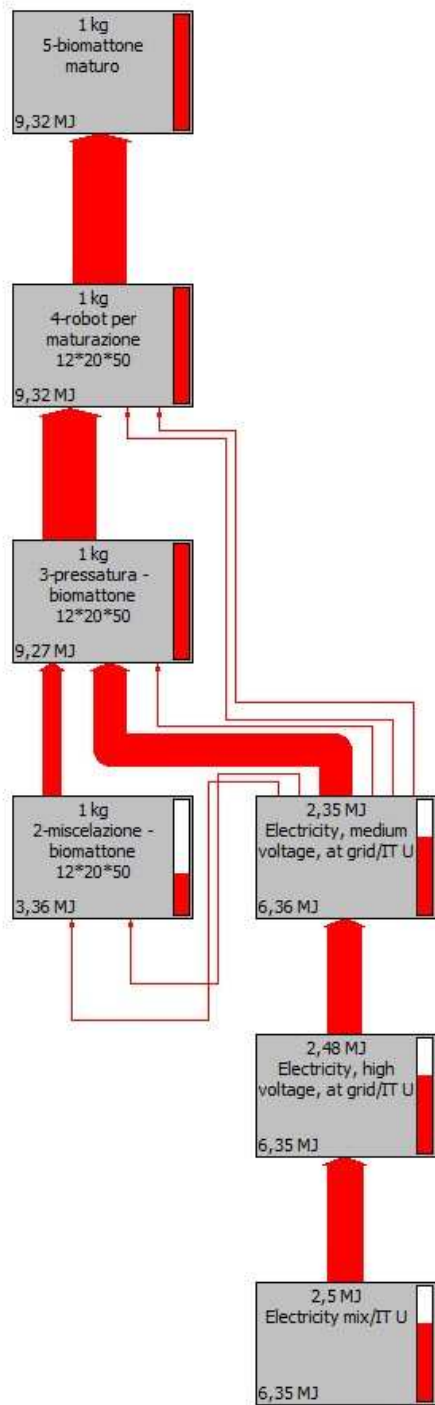


Fig. 2.26 Contenuto di energia primaria PEI [MJ] del Biomattone

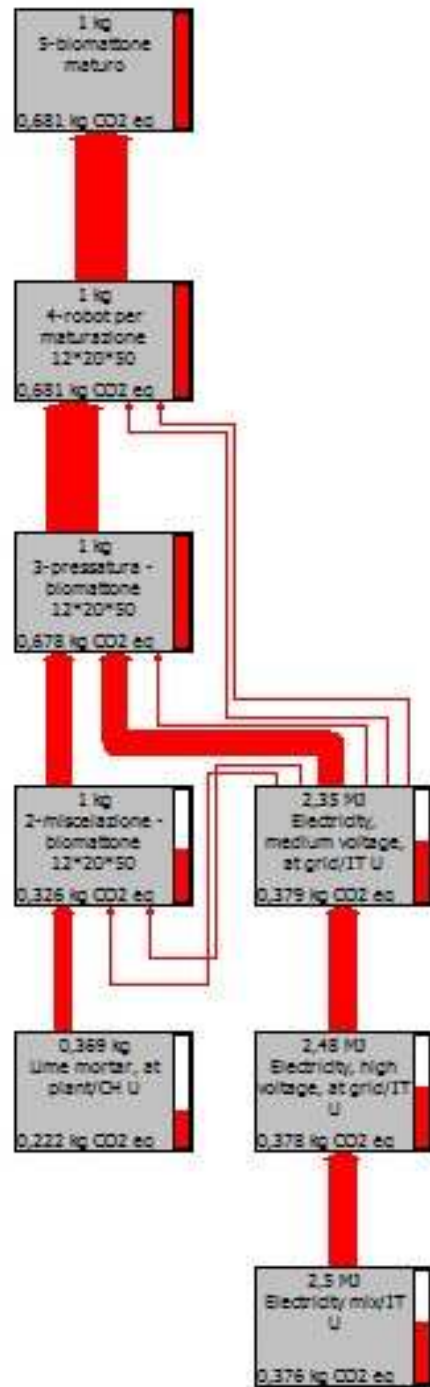


Fig. 2.27 Potenziale effetto serra GWP 100 [kg CO2-equivalenti] del Biomattone

Al Politecnico di Milano è in atto una analisi con metodologia LCA<sup>54</sup> degli impatti ambientali dei prodotti in calcecanapulo italiani (Biomattone e miscela Natural Beton di Equilibrium) che darà presto dei risultati trasparenti e confrontabili.<sup>55</sup> Questo studio condotto con il programma Simapro, utilizza i valori di impatto ambientale dovuti alla coltivazione e alla lavorazione della canapa per l'edilizia, tratti da una precedente analisi LCA, condotta al Politecnico di Milano e alla produzione della calce contenuti dal database Ecoinvent.

Questo studio produrrà a breve una descrizione dettagliata del profilo ambientale dell'intero ciclo di vita del calcecanapulo quantificando, tramite gli indicatori ecologici, tutte le risorse consumate e le sostanze inquinanti emesse. Permetterà inoltre di individuare le principali criticità ambientali del ciclo di vita del calcecanapulo fornendo un riscontro sulle sue potenzialità di miglioramento.

I primi risultati di tale studio, riportati qui sopra (vedi figure 2.26- 2.27), sono riferiti ai due indicatori più comuni, ovvero il **contenuto di energia primaria PEI [MJ]** e il **potenziale effetto serra GWP 100 [kg CO2- equivalenti]**.

Il primo descrive la spesa necessaria per la produzione e l'impiego del materiale in termini di energia (risorse). Il secondo indica i gas in relazione alla produzione di CO2. Dato che la durata di permanenza dei gas nell'atmosfera confluisce nel calcolo viene indicato l'orizzonte temporale considerato (100 anni). Il contenuto di energia primaria del Biomattone rilevato, riassunto per le diverse fasi di lavorazione del sono rappresentati in figura 2.26.

Nella figura 2.27 è invece indicato il potenziale effetto serra dovuto alla produzione del Biomattone, a questo valore andrà però ancora sottratta la CO2 riassorbita dal calcecanapulo durante il suo impiego. Lo scopo ultimo di tali analisi dovrebbe essere quello di valutare l'impatto dovuto all'impiego del calcecanapulo sull'intero ciclo di vita dell'edificio. Come è noto il tema della valutazione ambientale degli edifici è un tema molto complesso è articolato perché per mirare a un certo livello di completezza deve tenere conto di una moltitudine di fattori. Per valutare l'impatto del calcecanapulo nella sua interezza i risultati di impatto dovuti alla produzione del materiale andrebbero integrati con quelli dovuti al suo impiego durante la fase di vita dell'edificio (l'energia per il suo riscaldamento, la necessità di manutenzione ect.) e durante il suo smaltimento (il calcecanapulo sembra essere totalmente riciclabile, sgretolandolo esso può essere impiegato per nuove miscele di calcecanapulo). L'analisi LCA del materiale è però un primo gradino per il raggiungimento di una valutazione ambientale più completa dei sistemi in calcecanapulo.

Dallo studio del Politecnico di Milano citato dovrebbero anche emergere dei dati relativi alla scala dell'elemento tecnologico riferiti a 1 mq di stratigrafie murarie realizzate con l'impiego della miscela in calcecanapulo Natural Beton e con il Biomattone. Grazie ad essi sarà possibile effettuare un paragone tra sistemi costruttivi in calcecanapulo e sistemi diversi, più mirato rispetto a quello tra due singoli materiali, e capace di tenere conto di come l'impiego di calcecanapulo influisca sull'impiego di soluzioni tecnologiche e materiali differenti, ovvero l'impiego della struttura lignea e di intonaci e finiture a base di materiali naturali.

---

*54 Metodologia regolamentata dalle norme ISO 14040 e utilizzata metodo di base per la definizione dei criteri di assegnazione di marchi ambientali a materiali edili (come l'EPD, L'ECO-LABEL e il Blaue Angel), per lo sviluppo di banche dati di materiali e componenti edili e come supporto alla definizione di metodi di valutazione dell'ecocompatibilità di manufatti architettonici.*

*55 Tesi di laurea di C.Colombo e O.Ruggeri, relatore prof. G.Dotelli, Corso di Laurea Specialistica in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio, Scuola di Ingegneria Civile, Ambientale e Territoriale, Politecnico di Milano.*

## 2.7 LE ASSOCIAZIONI E I SOGGETTI PROMOTORI

In Francia, grazie a tre figure in particolare il potenziale del calcecanapulo è stato ulteriormente sviluppato e testato in diverse applicazioni. France Périer, un chimico, ha iniziato a produrre e distribuire il calcecanapulo come alternativa al cemento tradizionale con la sua azienda Isochanvre<sup>56</sup>, mentre Bernard Boyeux con l'associazione Costruire en Chanvre ed Yves Khun con l'Associazione d'Adam hanno contribuito alla nuova industria, con la messa in relazione dei diversi portatori di interesse verso il tema (Ronchetti, 2009).

A partire dal 1997 hanno avuto luogo diverse conferenze sulla costruzione della canapa, organizzate dall'associazione Costruire en Chanvre in collaborazione con il CSTB (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment) con la partecipazione del ADEME, CEBTP, FFB e ENTPE<sup>57</sup>, con l'obiettivo primario di creare un'occasione di scambio di esperienze e informazioni tra ricercatori, operatori e industria, per lo sviluppo di prodotti e la messa a punto dei "principi" di concreta attuazione del calcecanapulo. L'associazione Costruire en Chanvre, col supporto di CSTB e degli attori principali di prodotti agricoli e della costruzione (Ministero delle Politiche Agricole, Ministero delle Infrastrutture, Interchanvre, FFB) si è lanciata nel riconoscimento ufficiale della canapa come materiale da costruzione. Una commissione è stata istituita per scrivere le regole della costruzione con canapa e calce e nel 2008 sono state pubblicate delle regole professionali sulle tecniche della messa in opera di murature, solai, coperture e intonaci in calcecanapulo, ovvero le Règles professionnelles d'Execution, comprensive di dosaggi, procedure di miscelazione e fasi di messa in opera di ciascuna di queste applicazioni.

Ricerche scientifiche e test vengono costantemente condotti anche dal gruppo multinazionale Lhoist, uno dei più grandi produttori di calce al mondo (Costruire en Chanvre).

Inoltre, sono due le principali aziende francesi che operano nel settore della prefabbricazione dei blocchi in calcecanapulo, EasyChanvre (brevetto approvato al 2004)<sup>58</sup> e la ChanvriBloc<sup>59</sup>; esse si occupano sia della produzione degli elementi prefabbricati in calcecanapulo che dell'intero sistema costruttivo.

Oggi in Francia esistono diverse centinaia di case costruite in calcecanapulo e circa 4.000 tonnellate di canapulo vengono utilizzate dall'industria edile (Ronchetti, 2009).

Nel Regno Unito la ricerca sul calcecanapulo è stata svolta a partire dai primi anni del 1990 attraverso un lavoro finanziato dal Defra, NNFCC e DTI.<sup>60</sup>

La Graduate School of the Environment della CAT (Centre for Alternative Technology) insieme alla University of East London stanno svolgendo in questi anni una serie di ricerche, sia teoriche che pratiche sull'impatto ambientale e sulle prestazioni termiche del calcecanapulo.<sup>61</sup>

Il Lime Technology Ltd ad Abingdon e la Hemp Lime Construction Products Association conducono dei corsi di formazione sulle tecniche di costruzione con il calcecanapulo.

---

*56 La tecnica di costruzione di Isochanvre è stata poi appresa dall'architetto Ralph Carpenter, il pioniere della costruzione in calcecanapulo nel Regno Unito, che l'ha applicata nel progetto di Suffolk Housing in 2001, [www.suffolkhousing.org](http://www.suffolkhousing.org)*

*57 ADEME- Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie; CEBTP- Centre Expérimental de Recherches et d'Études du Bâtiment et des Travaux Publics; FFB- Fédération Française du Bâtiment; ENTPE-Ecole Nationale des Travaux Publics de l'Etat.*

*58 EasyChanvre, [www.easychanvre.fr](http://www.easychanvre.fr)*

*59 ChanvriBloc, [www.chanvribloc.com](http://www.chanvribloc.com)*

*60 Defra- Department of Environment, Food and Rural Affairs; NNFCC- The UK's National Centre for Biorenewable Energy, Fuels and Materials; DTI- The UK Department of Trade and Industry*

*61 Le tesi di ricerca sono disponibili al sito della CAT, <http://gse.cat.org.uk>*

Ad Harvhill in Suffolk, l'architetto Ralph Carpenter di Modece Architects è stato responsabile della realizzazione di un progetto di edilizia popolare nel sud dell'Inghilterra per conto della società Suffolk Housing adottando la tecnica di costruzione Isochanvre sviluppata dal chimico francese France Périer. L'intero processo è stato monitorato e misurato dal Building Research Establishment (BRE), una società di ricerca e consulenza specializzata in edilizia sostenibile, con il fine di investigare le proprietà strutturali, termiche, acustiche, di permeabilità e durezza, così come l'eventuale riduzione dei rifiuti generata sul posto durante i lavori, l'impatto ambientale, ed i costi di costruzione.<sup>62</sup>

Altri progetti di avanguardia realizzati in calcenapulo nel Regno Unito includono, la birreria Adnams in Suffolk e la sede della Lime Technology Ltd in Oxfordshire (Beavan & Woolley 2008).

Nel 2006, diverse aziende e professionisti Britannici si sono uniti per formare la HLCPA (Hemp Lime Construction Products Association)<sup>63</sup> ai fini di formulare delle linee guida ufficiali per la costruzione in calcenapulo e di promuovere l'uso del materiale all'interno dell'industria edile britannica introducendo i suoi benefici rispetto ai metodi costruttivi convenzionali (Ronchetti, 2007).

In Italia, dove l'interesse verso l'impiego di materiali naturali è ancora meno marcato rispetto ad altri paesi, lo sviluppo della costruzione in calcenapulo è solo agli esordi. Sono diverse però le associazioni, aziende e i professionisti che hanno colto le potenzialità di questo materiale volgendo uno spiccato interesse e cogliendovi il rapporto con la lunga cultura italiana della coltivazione e della lavorazione della canapa, durata fino al primo dopoguerra.

L'associazione ANAB (Associazione Nazionale Architettura Bioecologica) sorta da un gruppo di architetti accomunati dalla sensibilità per le tematiche ambientali, si occupa della qualificazione professionale dei progettisti e degli operatori edili verso una consapevolezza ecologica, tramite attività di ricerca, formazione, consulenza e certificazione dei prodotti edili in collaborazione con alcuni tra i più prestigiosi organismi di ricerca europei ed internazionali. Essa ha dimostrato il suo interesse verso il calcenapulo durante la sua partecipazione al progetto europeo INATER. Si tratta di un progetto di educazione e formazione permanente volte agli operatori nel settore edile che desiderano specializzarsi nel campo della costruzione ecologica e con materiali ecologici, tra i quali la terra cruda e la canapa.<sup>64</sup> Il calcenapulo, uno dei materiali protagonisti di questo progetto è stato indagato tramite visite e seminari presso le imprese artigiane francesi, svizzere e belghe utilizzatrici di questo materiale.

Due figure di rilievo per lo sviluppo, la sperimentazione e la propagazione delle tecniche costruttive con questo materiale in Italia, sono l'arch. Sergio Sabbadini e il geometra Olver Zaccanti, rappresentanti ANAB all'interno del progetto INATER. Nel 2010 Zaccanti ha realizzato il primo edificio in blocchi in calcenapulo in Italia, a San Matteo della Decima in Emilia-Romagna ( stato anche sede di un cantiere-scuola sull'impiego del calcenapulo di INATER).

Primo produttore di calce premiscelata per calcenapulo e di blocchi prefabbricati in questo materiale in Italia è Equilibrium<sup>65</sup>, un'impresa che opera da anni nell'emergente settore della bioedilizia, dei materiali da costruzione naturali e delle tecnologie per l'efficienza energetica, partecipando e promuovendo eventi e convegni nazionali e internazionali, che hanno portato al primo cantiere a metà

---

<sup>62</sup> BRE Hemp Houses Project, [www.bre.co.uk](http://www.bre.co.uk)

<sup>63</sup> Hemp Lime Construction Products Association (HLCPA), [www.hlcpa.co.uk](http://www.hlcpa.co.uk)

<sup>64</sup> Progetto INATER, [www.inater.net](http://www.inater.net)

<sup>65</sup> Dalla fine del 2011 Equilibrium produce e distribuisce il Biomattone® un blocco prefabbricato realizzato in calcenapulo, Natural Beton.

del 2011, con protagonista Paolo Ronchetti, il quale si dedica da più di 4 anni all'approfondimento e allo studio del materiale. Equilibrium collabora anche con l'associazione Assocanapa dalla quale acquista il canapulo, per arrivare ad un prodotto di qualità facilmente commercializzabile.

La Banca della Calce, società che ha come scopo lo sviluppo di prodotti di calce da utilizzare in architettura, promuove l'impiego del canapulo nella preparazione degli intonaci e nella applicazione di cappotti isolanti a base di calce e canapulo.<sup>66</sup>

L'architetto di progettazione sostenibile Maria Luisa Bisognin ha brevettato La Casa Coltivata, un sistema costruttivo con steli di canapa, canapulo e calce per la realizzazione di edifici atti a qualsiasi uso, adatto sia alla costruzione diretta sia alla prefabbricazione, e attualmente è alla ricerca dell'opportunità di realizzare il prototipo.<sup>67</sup>

---

*66 Calcecanapa, [www.calcecanapa.it](http://www.calcecanapa.it); Banca della calce, [www.bancadellacalce.it](http://www.bancadellacalce.it)*

*67 Brevetto Casa Coltivata, [www.architettobisognin.it](http://www.architettobisognin.it)*





## 3. COSTRUZIONE CON IL CALCECANAPULO

### 3.1 MESSA IN OPERA

La costruzione con il calcecanapulo può avvenire sia per mezzo di elementi prefabbricati assemblati e messi in opera in cantiere, che tramite la realizzazione di impasti in cantiere da mettere in opera con diverse tecniche e attrezzature a seconda delle prestazioni che si vogliono ottenere.

Tra gli elementi prefabbricati rientrano sia i blocchi di tamponamento che i pannelli strutturali prefabbricati (tipo Modcell). Nel caso di questi ultimi, la messa in opera viene seguita direttamente dall'azienda produttrice, il cui team si occupa della realizzazione dell'opera dalla fase di progetto a quella di messa in opera. In questo modo la fase delicata di assemblaggio e finitura viene monitorata direttamente dal produttore. Data la capacità strutturale dei pannelli, questa tecnica non necessita della realizzazione di alcun telaio (vedi paragrafo 3.3.2.2.1). Oltre a questo sistema è stato messo a punto in Spagna un altro sistema portante con blocchi in calcecanapulo (Cannabric). Queste due tecniche sono però le uniche a non necessitare di una struttura portante: nel caso dei blocchi prefabbricati e dei muri in getto è invece necessario l'abbinamento con un telaio portante. Dato il suo alto profilo ecologico e la sua affinità con la calce contenuta nel getto, il legno è il materiale prediletto per la realizzazione della struttura, ma la possibilità di utilizzare il calcecanapulo anche in abbinamento con telai in acciaio non è esclusa<sup>1</sup> (vedi figure 3.1 e 3.2).

Una volta eretto il telaio possono essere messi in opera sistemi prefabbricati con blocchi oppure sistemi di messa in opera della miscela di calcecanapulo in cantiere. Questi ultimi possono avvenire tramite due metodi di posa: il getto manuale oppure lo spruzzo. Per progetti di piccole dimensioni o per progetti di autocostruzione è da prediligere la messa in opera manuale che non necessita di alcun macchinario al di fuori del miscelatore. Per progetti di dimensioni maggiori invece o in situazioni in cui è comunque possibile disporre di una macchina a spruzzo è consigliabile questo tipo di messa in opera per la sua maggiore velocità di posa e di asciugatura (Bevan & Woolley, 2008).

In entrambi i casi è richiesta una buona manualità e una specifica conoscenza delle tecniche da parte degli operatori acquisita tramite brevi corsi pratici e tramite l'esperienza sul campo.

---

*1 Ne è un esempio il progetto di MF Architecte d'Intérieur con struttura in acciaio e legno realizzato con calcecanapulo a spruzzo da Batiethic. Altro esempio è il sistema di riempimento tra pannelli messo a punto da Equilibrium con telaio in acciaio*



Fig. 3.1 Struttura mista acciaio-legno usata per calcecanapulo a spruzzo



Fig. 3.2 Applicazione della struttura in legno

Particolare attenzione va conferita alle misure di sicurezza da prendere durante la messa in opera del calcecanapulo, che dato il suo contenuto di calce è da maneggiare prestando attenzione che esso non entri in contatto diretto con la pelle e con gli occhi e che non venga inalato.

Prima di illustrare nel dettaglio le tecniche costruttive con il calcecanapulo è necessario descrivere alcuni aspetti basilari della loro messa in opera, ricorrenti per ciascuna di esse.

La corretta progettazione e realizzazione di un edificio in calcecanapulo e le sue prestazioni di un dipendono dai diversi fattori descritti nei paragrafi seguenti:

- la struttura portante in legno
- i sistemi di cassetta
- i materiali utilizzati per i casseri a perdere
- il livello di formazione degli operatori
- l'aspetto della sicurezza in cantiere dovuto all'utilizzo del materiale
- i dosaggi delle mescole

### 3.1.2 IL SISTEMA STRUTTURALE

Le capacità portanti del calcecanapulo sono attualmente tema di ricerca e non hanno ancora trovato conferma unanime. Dei test dimostrano comunque che le sue capacità meccaniche superano quelle delle balle in paglia, materiale usato anche per murature portanti (Beavn & Woolley, 2008).

Al di fuori di due sistemi costruttivi in calcecanapulo con funzione portante, ovvero i pannelli strutturali, composti da calcecanapulo e cornice in legno (vedi paragrafo 3.3.2.2.1) e un sistema costruttivo in blocchi prefabbricati messo a punto in Spagna (Cannabric, vedi paragrafo 3.3.2.1.5), le altre tecniche di costruzione implicano l'impiego di calcecanapulo come tamponamento di una struttura portante, solitamente lignea. Attualmente ad essa deve anche essere conferita la funzione di controventatura, ma sono in atto ricerche riguardo alla capacità del calcecanapulo di svolgere tale funzione. La costruzione in calcecanapulo porta alla formazione di elementi monolitici intorno alla struttura che sembrano avere buona resistenza a trazione; dei dati certi a tale riguardo non sono però ancora disponibili (Bevan & Woolley, 2008).

Come anticipato nel paragrafo 2.3 il telaio in legno, necessario per l'applicazione delle tecniche in calcecanapulo, può essere di diverso tipo:

1. Sistema ad ossatura portante di legno (*Holzskelettbauweise*)
2. Sistema a traliccio di legno (*Fachwerkbau*)
3. Sistema ad intelaiatura di legno (*Holzrahmenbau*)<sup>2</sup>

#### **3.1.2.1 Sistema ad ossatura portante (*Holzskelettbauweise*)**

Nel sistema ad ossatura portante ai pilastri portanti viene integrata una seconda orditura di montanti a distanza più ravvicinata, ai quali viene applicato il calcecanapulo a getto (vedi figure 3.4 e 3.5). È possibile posizionare i montanti a filo interno o esterno rispetto allo spessore del getto, in maniera da fissarvi dei casseri a perdere o dei rivestimenti.

Alternativamente è possibile tenere l'ossatura portante internamente rispetto alla muratura in calcecanapulo, posizionando i montanti esternamente ad essa (vedi figure 3.3 e 3.6).

#### **3.1.2.2 Sistema a traliccio (*Fachwerkbau*)**

Il sistema a traliccio è quello con qui è stato introdotto l'impiego di calcecanapulo in edilizia, il calcecanapulo si è rivelato un materiale dalle proprietà ottimali per la sostituzione dei vecchi materiali di tamponamento di tali strutture, grazie alle sue capacità di respirabilità e permeabilità, nonché grazie alla sua proprietà protettiva nei confronti del legno. Questo sistema viene infatti maggiormente associato ad interventi di recupero. Un limite di questo sistema rispetto al sistema intelaiato con pannelli è che le controventature a croce di S.Andrea implicano un ostacolo al getto manuale. Tuttavia vi sono diversi esempi dell'impiego di calcecanapulo a tali sistemi strutturali con applicazione a spruzzo (vedi figure 3.7 e 3.8).

#### **3.1.2.3 Sistema ad intelaiatura (*Holzrahmenbau*)**

Tipologia più impiegata per la nuova costruzione in calcecanapulo è quella del sistema ad intelaiatura, formato da montanti a distanza ravvicinata. Con questo sistema è possibile abbinare alla struttura dei pannelli resistenti e traspiranti che funzionino sia da controventatura, sia da casseri a perdere per il getto, applicato a spruzzo. In questo caso la struttura può essere progettata sul lato interno o sul lato esterno rispetto al getto (vedi figure 3.11 e 3.12).

Sono in atto ricerche riguardo all'impiego di tale sistema senza pannelli di controventatura, ma per ora nel caso in cui non vengano impiegati i pannelli è necessario rivolgersi a uno strutturista per la progettazione di altri elementi che assicurino la controventatura del sistema, come croci in legno o tiranti in acciaio (Beavan & Woolley, 2008).

Nel progetto di Haverhill<sup>3</sup> ad esempio, la struttura con sistema intelaiato in legno è stato utilizzato senza pannelli di controventatura, inserendo delle diagonali in legno (Beavan & Woolley, 2008).

Nel progetto per lo Zoo di Thoiry, curato da Batiethic, la struttura è stata realizzata con sistema intelaiato senza pannelli di controventatura e questa viene assicurata da tiranti in acciaio.

In questo caso i montanti possono essere completamente annegati nel getto oppure possono essere posizionati ad una estremità del suo spessore. La seconda opzione è da preferirsi in abbinamento con

---

<sup>2</sup> da Gerhard Schickhofer – Andrea Bernasconi – Gianluigi Traetta, *Costruzione di edifici di legno*

<sup>3</sup> *Intervento di Social housing ad Haverhill, edificio in calcecanapulo, Suffolk, 2001.*



Fig. 3.3 Ossatura portante in legno, con orditura secondaria di montanti



Fig. 3.4. Getto tra montanti in sistemi di ossatura portante in legno

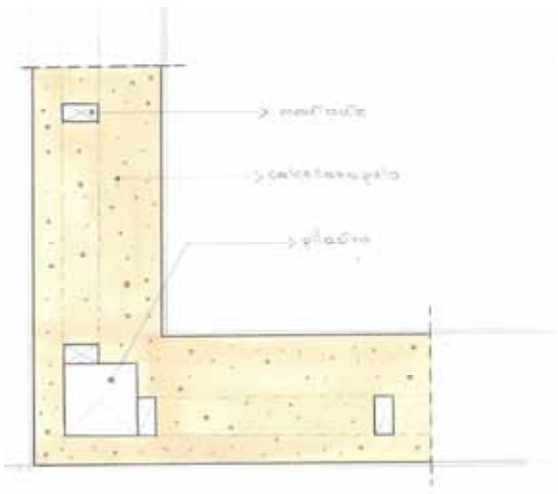


Fig. 3.5 Sistema ad ossatura portante centrale

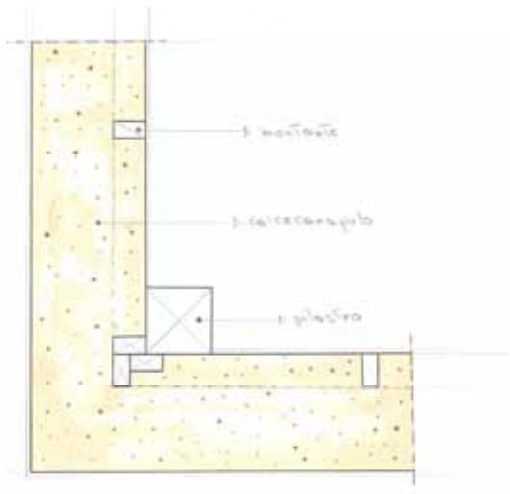


Fig. 3.6 Sistema ad ossatura portante interno



Fig. 3.7 Tamponamenti di una vecchia struttura a traliccio



Fig. 3.8 Tamponamenti di una vecchia struttura a traliccio, finitura in calce



Fig. 3.9 Sistema ad intelaiatura pronto per lo spruzzo



Fig. 3.10 Struttura ad intelaiatura, controventatura con tiranti in acciaio

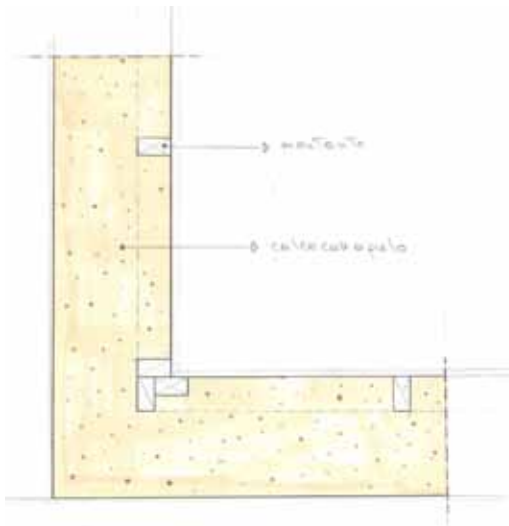


Fig. 3.11 Sistema ad intelaiatura interno

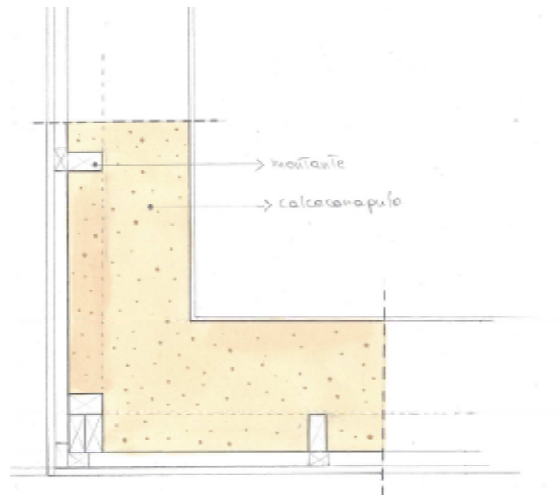


Fig. 3.12 Sistema ad intelaiatura esterno



Fig. 3.13 Calcecanapulo su sistema ad intelaiatura, controventatura con tiranti in acciaio



Fig. 3.14 Rivestimento in legno applicato a un muro di calcecanapulo, struttura esterna

un rivestimento in legno: applicando il getto in casseri in modo da posizionare la struttura all'estremità esterna del suo spessore la struttura è facilmente accessibile per il fissaggio ad essa del rivestimento in doghe di legno (vedi figura 3.14).

#### **3.1.2.4 La struttura del sistema con i blocchi pieni**

Anche il sistema costruttivo di muratura in blocchi pieni in calcecanapulo può essere abbinato a diversi tipi di struttura in legno, essa può essere del tipo ad ossatura portante o del tipo intelaiato.<sup>4</sup>

In entrambi i casi la struttura viene posizionata internamente rispetto al calcecanapulo (vedi figure 3.15 e 3.17). In questo modo la struttura non comporta un'interruzione alla muratura in blocchi, che risulta così continua e omogenea esternamente alla struttura, evitando la formazione di ponti termici. Questo metodo comporta una maggiore semplicità rispetto a un sistema in cui i mattoni vengono posizionati in linea con i pilastri, eliminando gli scarti dovuti ai tagli dei mattoni in corrispondenza dei pilastri.

Il caso in cui i mattoni possono essere posti nello spessore dei montanti è quello delle partizioni interne verticali, in cui un disallineamento tra la struttura e i pilastri risulterebbe poco agevole. Condizione necessaria per questo tipo di soluzione è che montanti e mattoni abbiano lo stesso spessore (vedi figura 3.16). In questo caso è utile per una minimizzazione degli scarti di materiale che i montanti vengano posizionati alla distanza pari alla lunghezza di un preciso numero di mattoni.<sup>5</sup>

#### **3.1.2.5 La struttura del sistema con i blocchi forati**

Un altro sistema è quello della struttura portante in legno inserita nei blocchi forati in calcecanapulo. Sviluppato dalla ditta francese *EasyChanvre* questo sistema si basa sulla messa in opera in cantiere di elementi prefabbricati, quali i montanti in legno e i blocchi in calcecanapulo (vedi figure 3.18 e 3.19). Esso prevede l'erezione di un telaio con pilastri 15x15, posizionati ogni 3,5 m circa, intervallati da una fitta rete di montanti da 5x15. In questo caso il telaio in legno viene inserito nei fori dei blocchi, che vengono attentamente tenuti allineati durante la posa.

#### **3.1.2.6 Distanza dal terreno**

In tutti questi sistemi è fondamentale osservare una precauzione espressa da tutte le ditte produttrici e i testi di riferimento, che riguarda la distanza minima da tenere tra il calcecanapulo e il terreno. In caso di nuova costruzione, il telaio in legno deve essere pensato in maniera da collegarsi a un basamento in cemento, di almeno 20 cm allo scopo di preservare il legno e il calcecanapulo dall'umidità presente nel terreno e dall'acqua di rimbalzo della pioggia. (Construire en Chanvre, 2007). La stessa attenzione va posta nel caso di realizzazioni di tamponamenti in calcecanapulo su edifici esistenti, nei quali il calcecanapulo non può mai essere a contatto diretto con il terreno, ma deve essere rialzato di almeno 15-20 cm da esso.<sup>6</sup> E' inoltre opportuno prevedere sistemi che impediscano l'umidità di risalita dal basamento.

---

<sup>4</sup> Chanvribloc- Le bloc chaux chanvre pour isolation et construction, [www.chanvribloc.com/Isolation-int](http://www.chanvribloc.com/Isolation-int)

<sup>5</sup> Deduzioni dall'osservazione di fotografie e reportage di Chanvribloc e Technichanvre

<sup>6</sup> Le "Règles professionnelles d'exécution" indicano un'altezza minima di 20 cm, Easy Chanvre riporta come altezza minima del traverso inferiore in legno 15 cm, come anche Chanvribloc come distanza tra il terreno e il primo blocco



Fig. 3.15 Sistema ad ossatura portante, interna rispetto alla muratura in blocchi



Fig. 3.16 Parete interna in blocchi, blocchi allineati alla struttura

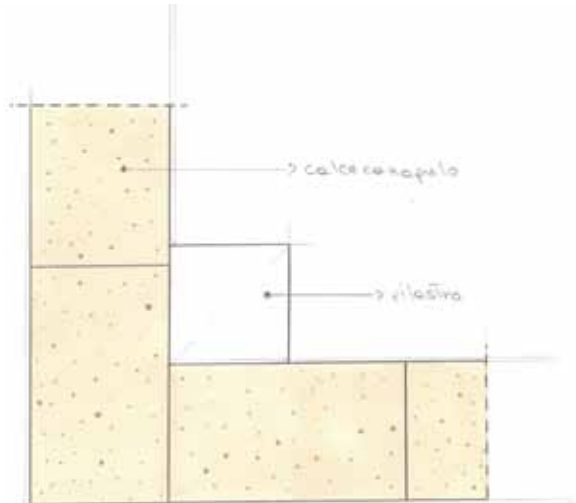


Fig. 3.17 Sistema ad ossatura portante, interna rispetto alla muratura in blocchi

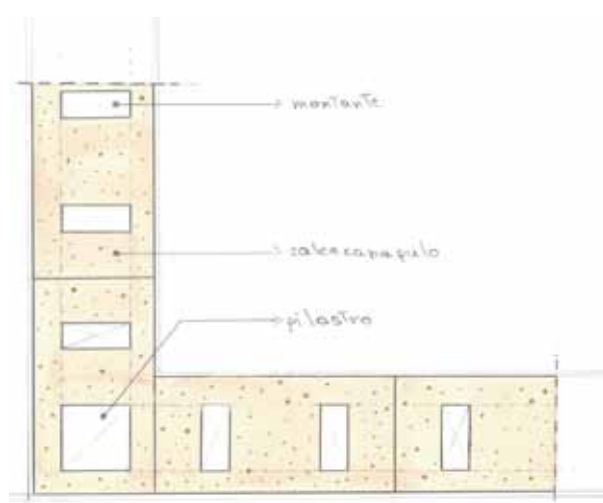


Fig. 3.18 Disposizione della struttura nel sistema con blocchi forati in calcecanapulo



Fig. 3.19 Struttura interna ai blocchi forati in calcecanapulo

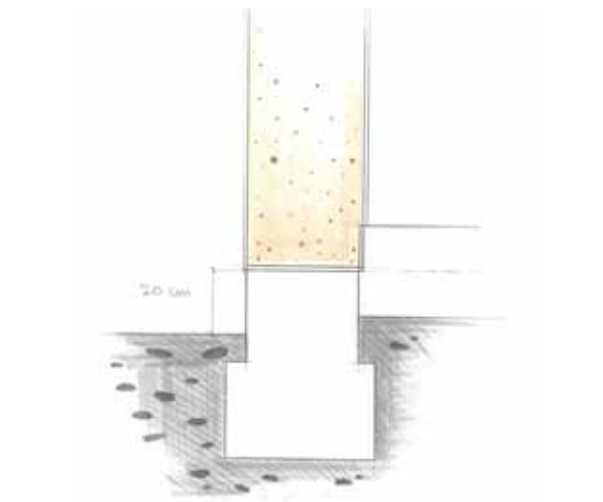


Fig. 3.20 Distanza minima dal terreno di una parete in calcecanapulo

Normative per la progettazione delle strutture in legno
D.M. 14 Gennaio 2008
Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 Gennaio 2008
Eurocodice 5 - Progettazione delle strutture di legno - Parte 1-1: Regole generali - Regole comuni e regole per gli edifici
CNR DT 206/2006 - Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo delle Strutture di Legno

Tab. 3.1 Normativa vigente per la progettazione in legno

Normative per la progettazione delle strutture in legno
UNI EN 338:2004      Legno massiccio
UNI EN 1912:2010    Legno massiccio di provenienza estera
UNI 11035:2010      Legno massiccio di provenienza italiana
UNI EN 1194:2000    Legno lamellare

Tab. 3.2 Normative per la classificazione del legno per uso strutturale

Normative antisismiche	
NTC2008 D.M. 14.01.2008	Norme Tecniche per le Costruzioni 2008 (D.M. 14 Gennaio 2008)
Circolare NTC2008 D.M. 14.01.2008	Circolare applicativa della NTC2008 D.M. 14.01.2008
Ordinanza 3274 del 20/3/2003	Nuova normativa antisismica (Suppl. Gazzetta Ufficiale n. 105) Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normativa tecniche per le costruzioni in zona sismica.
DECRETO 21 Ottobre 2003	Disposizioni attuative dell'art. 2, commi 2, 3 e 4, dell'ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003, recante «Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica».

Tab. 3.3 Normativa italiana antisismica



### 3.1.2.7 Normativa

Per il dimensionamento del telaio, di qualsiasi tipologia esso sia, il progetto deve essere seguito da uno strutturista e redatto in conformità con le disposizioni del capitolo 11.7 del D.M. 14 Gennaio 2008. Nella pagina a lato vengono riportati i riferimenti normativi per la progettazione delle strutture in legno e per la classificazione del legno per uso strutturale.

### 3.2.2 IL SISTEMA DI CASSERATURA

Per il sistema di posa a getto manuale su struttura in legno vengono fissati dei casseri di contenimento del getto. Questi determinano lo spessore dei muri e devono perciò essere montati con precisione, alla giusta distanza dalla struttura. Essi vengono fissati con distanziatori tubolari in legno (vedi figura 3.23) o con delle viti (vedi figura 3.24) in maniera da distanziarsi l'uno dall'altro a una misura pari a quella desiderata per il muro (normalmente 30-40 cm).

Essi normalmente non eccedono i 60 cm di altezza, per agevolare la posa del getto al loro interno. E' possibile utilizzare i classici casseri in legno compensato, oppure come consigliato dalla Tradical Hempcrete i casseri in materiale sintetico, gli stessi utilizzati anche per il getto del calcestruzzo.<sup>7</sup>

La cassetta è una fase importante della realizzazione delle pareti in calcecanapulo in quanto è con essa che si definisce forma e dimensioni definitive del manufatto. Per questo le caratteristiche di planarità e resistenza del materiale utilizzato per i casseri devono essere preventivamente verificate.

### 3.2.3 I CASSERI A PERDERE

Le pareti in calcecanapulo possono essere realizzate con dei casseri a perdere. Dagli esempi osservati si evince che questo sistema viene soprattutto impiegato quando il calcecanapulo viene applicato a spruzzo. In questo caso il pannello viene fissato ai montanti e poi il calcecanapulo viene spruzzato tra i montanti, sulla sua superficie. Oppure questo sistema può essere impiegato per il contenimento di getti molto isolanti (con proporzione di canapulo e calce 1:1).

Particolare attenzione deve essere data alla scelta del pannello usato come cassero a perdere. Esso deve avere specifici requisiti di traspirabilità e permeabilità al vapore per permettere l'asciugatura del getto. Per questo deve trattarsi di un materiale sufficientemente traspirante e anche capace di resistere alla presenza di umidità della mescola. Il comune pannello *oriented strand board* (OSB), utilizzato dalla maggior parte delle aziende che forniscono strutture di legno, potrebbe perciò non essere adatto (Bevan & Woolley, 2008).

Ad oggi, nella gran parte degli edifici in calcecanapulo si utilizza un pannello in fibra di legno e magnesite, tipo *Eraclit*. Tuttavia, è possibile usare altri tipi di pannelli purché non si danneggino con l'umidità del getto in calcecanapulo fresco.

In altri progetti è stato utilizzato un prodotto chiamato *Sasmox*; si tratta di un pannello realizzato con cartongesso riciclato e fibre di legno simile ad un altro prodotto chiamato *Fermacell*, fatto con cartongesso riciclato e carta di scarto. Tutti questi prodotti hanno buone valutazioni ambientali e sono anche permeabili al vapore. Alcuni test sono stati effettuati dalle aziende produttrici per indagare l'impatto del calcecanapulo bagnato sull'integrità strutturale e la capacità di asciugatura di tali materiali (Bevan & Woolley, 2008).

Equilibrium utilizza invece un pannello di magnesite rinforzato con fibra di vetro chiamato *Megapan*,

---

<sup>7</sup> Da Lhoist Wall Sistem, [www.lhoist.co.uk](http://www.lhoist.co.uk)



Fig. 3.21 Sistema di cassetatura



Fig. 3.22 Sistema di cassetatura per il telaio ligneo a filo esterno del getto



Fig. 3.23 Sistema di fissaggio della cassetatura al telaio ligneo centrale con tubolari in legno



Fig. 3.24 Sistema di fissaggio della cassetatura al telaio ligneo centrale con viti



Fig. 3.25 Stuoie di arelle come casseri a perdere, Marc Desset



Fig. 3.26 Stuoie di arelle che funzionano anche come aggrappo per l'intonaco, Marc Desset

Pannello	Composizione	$\mu$
Femacell	gesso e fibre di cellulosa da carta riciclata	13
Heraklith	lana di legno e magnesite	5
Sasmox	fibra di legno e fibra di vetro	6
Megapan	magnesite e fibra di vetro	8,2

Tab. 3.4 Fattori di resistenza al vapore dei pannelli utilizzati come casseri a perdere

per il sistema di riempimento tra pannelli (vedi paragrafo 3.3.1.1.4). La scelta di questo materiale è stata motivata dalla traspirabilità e permeabilità al vapore del materiale, la cui affinità con il calcecanapulo è stata testata in laboratorio dalla stessa ditta produttrice.

È importante garantire che tali pannelli siano ben fissati alla struttura di legno che deve sostenere il peso del getto a spruzzo in calcecanapulo.

Un altro sistema sperimentato dall'artigiano francese Marc Desset<sup>8</sup> è quello dell'impiego di stuoie di arelle come cassero a perdere. Questo sistema consiste in una soluzione più ecologica e allo stesso tempo molto pratica per la realizzazione di casseri a perdere con contemporanea funzione di aggrappo per l'intonaco (vedi figure 3.25 e 3.26).

### 3.2.4 LA FORMAZIONE DEGLI OPERATORI

Come per le altre tecniche innovative di bioedilizia il tema della formazione degli operatori di cantiere è un tema delicato. Non essendo ancora una tecnica diffusa e non avendo allo stato attuale una normativa italiana che prenda in considerazione le tecniche costruttive in calcecanapulo, la costruzione in calcecanapulo necessita di una preliminare formazione degli operatori del settore e una certa sensibilità ed attenzione verso le particolarità, differenti da quelle di molti materiali convenzionali, che questo materiale comporta. Allo scopo di diffondere la conoscenza della tecnica presso le imprese di settore, le associazioni e i produttori di bioedilizia organizzano corsi di formazione e seminari con formatori esperti della tecnica.<sup>9</sup>

In queste occasioni i partecipanti possono imparare le tecniche costruttive con il calcecanapulo collaborando alla loro messa in opera, supportati da apporti teorici fornitigli durante la formazione. L'aspetto teorico non è trascurabile, in quanto l'impiego del calcecanapulo non è prescindibile da una buona conoscenza della composizione e del comportamento della calce. Per questo la tecnica viene

---

<sup>8</sup> INTER, 2011 Chantier Ecole, Marc Desset, Belgio

<sup>9</sup> Cantieri scuola organizzati da: ANAB Associazione Nazionale Architettura Bioecologica, Italia, [www.anab.it](http://www.anab.it). Smala, Svizzera, [www.lasmala.org](http://www.lasmala.org).

Cluster Éco-Construction de Wallonie, Belgio, [www.ecoconstruction.be](http://www.ecoconstruction.be)

GIP-FAR Formation de l'Académie de Rennes, Francia, [www.constructys-bretagne.fr](http://www.constructys-bretagne.fr)

Schede tecniche	Contenuto
Scheda studio-cantiere	Scheda dettagliata delle fasi, dei materiali, delle attrezzature, dei comportamenti attesi, degli obblighi di igiene, qualità e sicurezza e dei mezzi di controllo della tecnica sviluppata.
Intervista con l'esperto	Report della conversazione con l'esperto in cantiere durante l'attuazione della tecnica. Descrizione discorsiva dell'attività svolta e commenti dell'esperto.
Quadro di riferimento delle attività	Elenco dettagliato di tutte le attività necessarie alla messa in opera di una determinata tecnica.
Quadro di riferimento delle competenze	Rilevazione degli ambiti di competenza necessari alla messa in opera della tecnica.
Quadro di riferimento della formazione	Organizzazione in fasi per l'attuazione di corsi di formazione di tale tecnica.

Tab. 3.5 Elaborati di descrizione delle tecniche innovative osservate durante i cantieri-scuola, INATER

appresa più facilmente da costruttori già in possesso delle nozioni concernenti questo materiale. Le tecniche con il calcecanapulo possono essere apprese con facilità, ma è solo con una prolungata esperienza che si possono davvero padroneggiare. L'esperienza e la conoscenza del comportamento del materiale sono necessarie per affrontare le situazioni peculiari e comprendere le eventuali particolarità delle situazioni. Per esempio l'uso di calci diverse da quelle prescritte dai produttori è da evitare nel caso in cui non si ha una profonda conoscenza delle caratteristiche del materiale e della sua messa in opera. Conoscendone i segreti è però possibile adattare la miscela ai requisiti di ogni intervento, differenziandone all'occorrenza la composizione. Come spiega l'artigiano francese esperto di calcecanapulo Christophe Latouche durante un cantiere di intonaco isolante in calcecanapulo "il suo intonaco isolante è sia solido, che fungicida che antiumidità. E' l'utilizzo nella miscela della calce aerea che gli permette di raggiungere questi obiettivi in modo ottimale. La calce idraulica contiene una quantità d'argilla troppo elevata che tende a densificare il prodotto e trattenerne l'acqua, col rischio di favorire la putrefazione delle materie organiche (canapa) dell'intonaco e di nuocere alla funzione isolante. Se qualsiasi calce costituisce un fungicida naturale e se la calce idraulica indurisce più rapidamente, la calce aerea permette un processo di carbonatazione che inizierà quando la calce come tale - al termine di un periodo limitato - perderà le sue qualità fungicide."<sup>10</sup>

Sono diversi i fattori ad influire sulla qualità dell'opera. Dalla situazione climatica, ad esempio, dipende il dosaggio dell'acqua, che deve essere aggiustato per l'ottenimento di una consistenza adatta. Nella fase di applicazione del getto è invece importante che il materiale non venga schiacciato, ma solo leggermente costipato, per ottenere una distribuzione omogenea, senza però aumentarne eccessivamente la densità e senza influire sulle sue capacità isolanti. Altra particolarità del materiale è il suo lungo periodo di asciugatura, durante il quale necessita di una continua ventilazione.

Per le ragioni espresse è necessario che i lavori vengano sempre seguiti da un professionista esperto nella tecnica costruttiva. Ciò non esclude però la possibilità di realizzare tali tecniche anche in autocostruzione. La costruzione può infatti essere eseguita a tappe e non c'è necessità di costruire un elemento intero alla volta. Il *BRE Report* (BRE, 2006) riporta le ore di lavoro di persone impiegate nella

<sup>10</sup> Progetto Inater, schede delle tecniche, 01-4-1-Scheda-cantiere-1-intonaco-iso-calcecanapulo, [www.inater.net](http://www.inater.net)

Rischi	Classe	Interventi in caso di pericolo	Protezioni
Rischio di lesioni oculari gravi	R41	Non strofinare Lavare con acqua Consultare un medico	Maschera EN166
Irritante per la pelle	R38	Lavare con acqua e sapone	Guanti EN420
Irritante per le vie respiratorie	R37	Irrigare il naso con acqua Sciogliere la gola con acqua	Maschera antipolvere EN149

Classe di pericolo	
Calce spenta idraulica e idrata	Xi



Tab. 3.6-3.7 Classe di pericolo e misure di soccorso per l'impiego della calce aerea e idrata, Villaga Fig. 3.27-3.28 Dispositivi di Protezione Individuale

costruzione di case in calcecanapulo ad Haverhill.<sup>11</sup> In questa occasione una volta appresi i principi base delle tecniche in calcecanapulo, tramite un'attenta gestione del cantiere il lavoro si è notevolmente velocizzato, risultando rapido ed efficiente, anche con operatori di nuovo approccio con il materiale. Il report ha rilevato che i costruttori sono stati in grado di costruire la seconda casa in metà del tempo rispetto alla prima. (Bevan & Woolley)

Un ruolo fondamentale nell'ambito della formazione nella costruzione con questo materiale va riconosciuto al progetto europeo INATER. Questo progetto finanziato dalla comunità europea ha permesso di approfondire il tema della formazione raccogliendo in particolare l'esperienza di 4 nazioni: Francia, Belgio, Italia e Svizzera. Durante il progetto sono stati testati ed elaborati i programmi formativi, la documentazione pedagogica e metodologica per la formazione nell'abito della costruzione con materiali naturali.

I documenti e risultati finali sono stati raccolti e messi a disposizione di tutti sul sito [www.inater.net](http://www.inater.net). Si tratta di report dettagliati delle attività, delle competenze e della formazione svolti durante dei cantieri-scuola presso i cantieri di esperti delle tecniche in oggetto. Per ogni tecnica sono stati elaborati i documenti riportati nella tabella seguente.

### 3.2.5 LA SICUREZZA

Nonostante il calcecanapulo sia un materiale naturale va sottolineato che esso non ha il pregio, che hanno invece altri materiali naturali da costruzione quali la terra cruda e la paglia, di poter essere maneggiato senza alcuna misura di protezione per il corpo. Le mescole in calcecanapulo non sono aggressive per il corpo quando sono asciutte, ma vanno maneggiate con tutte le dovute precauzioni quando sono fresche.

Il canapulo essendo un materiale vegetale, se già depolverizzato e non trattato, può essere maneggiato a mani nude e non comporta alcun pericolo per quanto riguarda il suo contatto con gli occhi e l'inalazione. Per le tecniche di riempimento con il canapulo sfuso, se il canapulo è già depolverizzato,

<sup>11</sup> *Intervento di Social housing, Haverhill, Suffolk, Suffolk Housing Society, 2001. Oggetto di studi di conmarazione della BRE.*

non è perciò necessario osservare alcuna particolare precauzione; se così non fosse vanno utilizzate mascherine.

Il materiale da utilizzare con attenzione è invece la calce, sia essa idraulica che idrata. Essa non presenta caratteristiche di tossicità, ma può provocare irritazioni importanti.

L'ossido di carbonio (contenuto sia nella calce idrata che idraulica) a causa della sua elevata alcalinità può diventare irritante per la pelle e può provocare arrossamenti. Per questo motivo è necessario indossare sempre guanti quando si utilizza questo materiale. Inoltre è necessario prestare attenzione, specialmente durante la fase di miscelazione, a non inalare le polveri della calce, che possono irritare le mucose e le vie respiratorie. Viene perciò prescritto l'uso della mascherina, durante l'intera fase di miscelazione e finché viene maneggiata la calce a secco.

La parte del corpo alla quale bisogna però prestare maggiore attenzione sono gli occhi, ai quali il contatto con la calce può provocare oltre che irritazioni anche gravi lesioni. L'uso della maschera per occhi è perciò necessaria in tutte le fasi di utilizzo della calce e del calcecanapulo.<sup>12</sup>

## **3.2. LE FASI DELLA MESSA IN OPERA**

### **3.2.1 ORGANIZZAZIONE E PREPARAZIONE DEL CANTIERE**

La prima fase è quella dell'organizzazione del cantiere, in cui viene pianificato il lavoro e vengono suddivise le mansioni tra gli operatori del cantiere in maniera da ottimizzare le risorse e i tempi. Nel caso di una realizzazione con getto ad applicazione manuale, ad esempio, è utile che vi sia qualcuno addetto alla preparazione e al trasporto della mescola, qualcuno incaricato della sua applicazione e possibilmente qualcuno addetto al fissaggio e spostamento dei casseri.<sup>13</sup>

Successivamente è necessario preparare il cantiere e controllare la sua situazione di partenza. Questa attività è strettamente legata al tipo di intervento e al tipo di tecnica da impiegare e verrà illustrata in riferimento ad ogni tecnica. In generale in questa fase bisogna verificare che vi sia accesso a tutte le zone previste per l'applicazione del materiale e che il cantiere sia in un sufficiente stato di ordine e pulizia. In particolare in corrispondenza delle superfici alle quali viene applicato il calcecanapulo è utile che il pavimento sia pulito per facilitare il recupero del materiale che cade a terra. Inoltre, prima di applicare il materiale va verificata l'idoneità dei supporti. Nel caso dello spruzzo ad esempio è necessario verificare che i casseri a perdere siano stati installati con precisione e che siano in grado di ricevere il calcecanapulo. In tutte le applicazioni è importante che il supporto sia pulito da polveri ed in alcuni casi è richiesto bagnare la superficie per ottenere una maggiore presa del getto.

Negli interventi di recupero di murature esistenti in questa fase vengono preparate le superfici alle quali viene applicato il getto e vengono predisposti eventuali sistemi di aggrappo. Nel recupero di coperture invece prima dell'applicazione deve essere rimosso il manto di copertura e sia nel caso di coperture che di solai devono essere controllati ed eventualmente aggiunti listelli necessari al riempimento con calcecanapulo.

### **3.2.2 MONTAGGIO DEI CASSERI E DEI SISTEMI DI ANCORAGGIO**

Nel caso di calcecanapulo a getto o di sistemi di applicazione di intonaci con cassetatura (vedi tecnica

---

*12 Da scheda di sicurezza della calce NHL Villaga e dalla scheda di sicurezza della calce idrata Villaga*

*13 Dalle schede di cantiere del progetto Inater, [www.inater.net](http://www.inater.net)*

di Latouche, paragrafo 3.3.1.1.10) i casseri devono essere fissati man mano che si avanza con il getto. I sistemi di fissaggio dei casseri possono essere di diverso tipo, ma la loro altezza non eccede mai i 60 cm circa perché un'altezza maggiore renderebbe difficile l'applicazione del getto e la sua compattazione a mano.

In un sistema di messa in opera ben organizzato, con disponibilità di manodopera, è utile che vi sia qualcuno addetto al fissaggio e allo smontaggio dei casseri. Quest'operazione deve infatti avvenire abbastanza velocemente man mano che si avanza con il getto ed essendo molto più agevole svolgere questa attività con quanti ad alta sensibilità, diversi da quelli protettivi per l'applicazione del calcecanapulo, è funzionale che venga svolta da qualcuno di diverso dall'applicatore del getto.<sup>14</sup> A questo scopo l'applicazione del calcecanapulo andrebbe effettuata cercando di mantenere puliti i casseri dal loro lato esterno in modo da evitare che le mani nude dell'operatore incaricato alla cassetta debbano continuamente essere in contatto con la miscela.

Nel caso di spruzzo con casseri a perdere o di riempimento tra pannelli, questi possono essere fissati in una fase temporanea precedente a quella di messa in opera del calcecanapulo, possono essere fissati alla struttura appena dopo che essa viene eretta.

In caso di interventi di recupero, per l'applicazione di contropareti in calcecanapulo ad esse devono essere fissati dei sistemi di ancoraggio per assicurare l'adesione del nuovo strato alla parete esistente. La documentazione raccolta illustra sistemi di ancoraggio in legno, consistenti in una orditura di montanti e listelli che vengono agganciati alla parete esistente in modo da restare annegati nel getto e da assicurarne l'adesione al muro<sup>15</sup>. Altri sistemi più leggeri sono però attualmente in fase di sperimentazione.

### 3.2.3 L'INSTALLAZIONE DEGLI IMPIANTI

Nelle pareti in calcecanapulo gli impianti idrici, termici ed elettrici vengono fissati alla struttura in maniera da rimanere annegati nel getto (vedi figure 3.29-3.31). Nel fissaggio delle tubazioni orizzontali andrebbe tenuta una distanza minima di 2-3 cm tra una tubazione e l'altra per evitare una eccessiva rottura della continuità del getto.<sup>16</sup>

Nelle murature in getto in calcecanapulo vanno evitate laddove possibile le scanalature a getto ultimato, perché il rischio è che il getto si sgretoli laddove viene inciso. Se dovesse comunque essere necessario, la scanalatura va richiusa con un impasto di calcecanapulo.<sup>17</sup>

In ogni caso le tubature devono essere coperte da almeno 2 cm di getto in calcecanapulo.

Il fissaggio degli impianti e delle scatole elettriche è facilitato nel caso di un sistema costruttivo con pannelli di controventatura della struttura in legno sul lato interno.

Nelle murature in blocchi in calcecanapulo invece gli impianti vengono installati dopo, tramite scanalature (vedi figure 3.32-3.34). In questo caso dopo il posizionamento delle scatole elettriche e delle tubazioni, le scanalature vengono richiuse con delle malte di calce.<sup>18</sup>

Anche nelle chiusure e partizioni orizzontali gli impianti vengono annegati nel getto. Nei solai controterra essi vengono posizionati sul massetto di calce e sabbia prima della messa in opera del calcecanapulo e

---

<sup>14</sup> Dalle schede di cantiere del progetto Inater, [www.inater.net](http://www.inater.net)

<sup>15</sup> Sistema utilizzato soprattutto in Francia, esempi di realizzazione eseguiti da Batiethic

<sup>16</sup> Construire en Chanvre (2007), Les Règles Professionnelles d'Exécution d'Ouvrage en Béton de Chanvre, SEBTP

<sup>17</sup> Construire en Chanvre (2007), Les Règles Professionnelles d'Exécution d'Ouvrage en Béton de Chanvre, SEBTP

<sup>18</sup> Chanvribloc, [www.chanvribloc.com](http://www.chanvribloc.com)

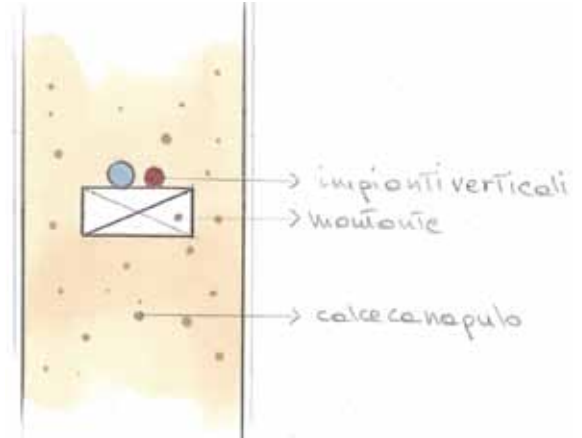


Fig. 3.29-3.30-3.31 Posizionamento degli impianti elettrici



Fig. 3.32-3.33-3.34 Scanalature nei blocchi pieni in calcecanapulo Chanvribloc



Fig. 3.35-3.36 Impianti sul solaio controterra in massciata in ghiaia (tipico vespaio areato francese)



Fig. 3.37-3.38 Impianti sull'assito in legno di un solaio interpiano



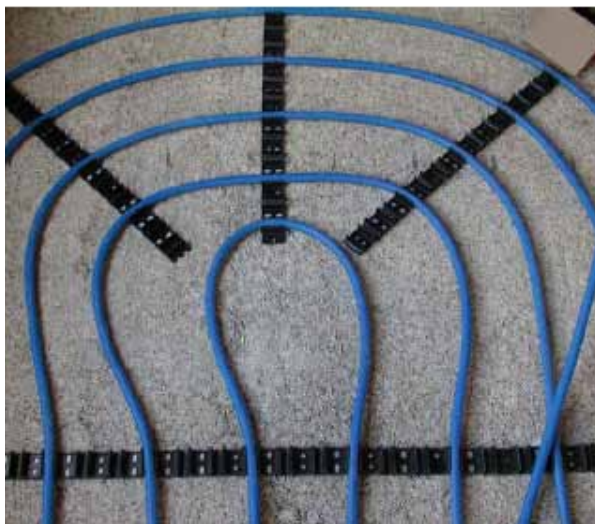


Fig. 3.39 Impianto di riscaldamento a pavimento sul massetto in calcecanapulo



Fig. 3.40 Copertura dell'impianto a pavimento con massetto in calce e sabbia

nei solai interpiano vengono installati sopra all'assito.

L'impianto di riscaldamento a pavimento deve invece essere installato sopra al massetto in calcecanapulo per poi essere ricoperto con uno strato non isolante, che non ostacoli il passaggio di calore erogato dall'impianto. Normalmente viene a questo scopo utilizzato un massetto di calce oppure nei sistemi a secco uno strato di sabbia.

### 3.2.4 PREPARAZIONE DELLA MISCELA

Ogni tecnica costruttiva con il calcecanapulo prevede l'elaborazione del proprio tipo di miscela. In base alla capacità di isolamento e al livello di resistenza meccanica necessaria per ogni applicazione la densità della miscela viene regolata variando i dosaggi di calce e le sue proporzioni rispetto al canapulo. La quantità di acqua viene invece aggiustata ad occhio e può variare notevolmente in base alle condizioni climatiche.

Anche l'idoneità del tipo di miscelatore e le procedure di miscelazione variano in base al tipo di applicazione.

In seguito vengono perciò indicati, relativamente alle diverse applicazioni:

- i dosaggi
- i macchinari
- le procedure di miscelazione

#### 3.2.4.1 Dosaggi

Per assicurarsi un buon risultato è indispensabile attenersi alle dosi e alle indicazioni di miscelazione fornite dai produttori dei materiali, a meno che il livello di esperienza del costruttore non sia tale da permettergli di adattare personalmente i dosaggi e la procedura di miscelazione in funzione del risultato desiderato.

L'attinenza al dosaggio consigliato non esclude comunque il requisito di chi prepara la miscela di saperne riconoscere la giusta consistenza, in particolare per ciò che concerne il dosaggio di acqua, che va aggiunta a seconda delle necessità. Un dosaggio eccessivo di acqua potrebbe essere la causa di una miscela troppo liquida, mentre un suo dosaggio troppo basso potrebbe ostacolarne la presa.

	Canapulo (kg)	Calce (kg)	Acqua(kg)
INTONACI	1	8	5
MURI	1	2,2	3,5
SOLAI	1	2,75	5
COPERTURE	1	1	2

Tab. 3.8 Dosaggi di riferimento dalle “Règles professionnelles d’exécution d’Ouvrage en Béton de Chanvre”

Nelle “Règles professionnelles d’exécution d’Ouvrage en Béton de Chanvre”<sup>19</sup> francesi vengono indicati dei dosaggi e delle procedure di miscelazione messi a punto da Construire en Chanvre in collaborazione con aziende produttrici e centri di ricerca francesi, approvati dagli enti francesi C2P e AQC<sup>20</sup>. Questi dosaggi e le relative caratteristiche termiche e meccaniche, vengono considerati di riferimento per la costruzione in calcecanapulo.

La densità e la resistenza del materiale necessarie ai diversi usi si ottengono variando le dosi di legante: con un basso contenuto di legante, si ha una densità inferiore e una migliore capacità di isolamento termico, ma si ottiene un materiale meno resistente, adatto perciò alla realizzazione di riempimenti di solai, coperture e massetti isolanti non calpestabili. Con l’aggiunta di una maggiore quantità di legante, la miscela diventa più densa e resistente e può essere usata per formare murature di tamponamento, contropareti e massetti calpestabili.

Il dosaggio di acqua è molto variabile a seconda delle condizioni climatiche presenti durante la messa in opera: i valori di umidità, temperatura e vento, incidono notevolmente sulla quantità di acqua, perciò le dosi consigliate sono molto indicative e devono essere aggiustate al momento per ottenere il giusto grado di fluidità dell’impasto. I dosaggi indicati da diverse aziende riportano infatti solo le proporzioni di canapulo e di cale e non indicano quello di acqua.

Nella Tabella 3.8 vengono riportati i dosaggi di riferimento per la realizzazione di intonaci, muri, solai e coperture in calcecanapulo. come sono indicati nelle “Règles professionnelles d’exécution d’Ouvrage en Béton de Chanvre”, con canapulo Chanvribat distribuito in sacchi compressi e calce Tradical PF 70.<sup>21</sup> Questi dosaggi vengono utilizzati anche per le tecniche di applicazione a spruzzo.

### 3.2.4.2 I macchinari

I macchinari utilizzati per le tecniche costruttive in calcecanapulo 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

<sup>19</sup> Construire en Chanvre (2007), Les Règles Professionnelles d’Exécution d’Ouvrage en Béton de Chanvre, SEBTP

<sup>20</sup> il C2P (Commission Prévention Produit) e l’AQC (l’Agence Qualité Construction). Construire en chanvre mette a disposizione sul suo sito ([www.construction-chanvre.asso.fr](http://www.construction-chanvre.asso.fr)) un elenco di laboratori accreditati per l’elaborazione di test sul materiale.

<sup>21</sup> a base di calce aerea (75%), con aggiunta di calce idraulica (15 %) e con il 10 % di pozzolana e Tradical PF 80 nel caso dell’intonaco con calce aerea (85%) e calce idraulica (15 %).

	Spessore (cm)	Densità (Kg/m <sup>3</sup> )	Modulo di elasticità (MPa)	Resistenza a compressione (MPa)	Conduttività termica (Wm <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> )	Resistenza termica (m <sup>2</sup> KW <sup>-1</sup> )	Permeabilità al vapore (kgm <sup>-1</sup> s <sup>-1</sup> Pa <sup>-1</sup> )
INTONACI	10	800	25	0,4	0,17	0,59	-
MURI	35	420	20	0,3	0,1	3,5	1,5 *10 <sup>-11</sup>
SOLAI	10-15	500	20	0,3	0,1	1,5	1,5 *10 <sup>-11</sup>
COPERTURE	25	250	3	0,1	0,06	4,2	-

Tab. 3.9 Caratteristiche delle miscele dalle "Règles professionnelles d'exécution d'Ouvrage en Béton de Chanvre"



Fig. 3.41-3.42-3.43-3.44 Differenti tipologie di calce: premiscetata, idrata, idraulica naturale



Fig. 3.45 Canapulo medio Chanvribat, in sacchi compressi



Fig. 3.46 Calce premiscelata Equilibrium



Fig. 3.47 Canapulo medio, Chenevotte



Fig. 3.48 Canapulo medio, Canabrium, Assocanapa

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 del calcecanapulo 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.

Ancora in fase di sperimentazione è invece l'applicazione a insuflaggio con apposita macchina insufflatrice per il riempimento verticale di pareti con canapulo sfuso o con calcecanapulo (in proporzione 1:1).<sup>22</sup>

Inoltre per l'intonaco di finitura, seppure non siano stati osservati casi di applicazione con questo macchinario è possibile l'eventuale impiego di una frattazzatrice meccanica.

#### **3.2.4.2.1 Le macchine a spruzzo**

Per l'applicazione a spruzzo del calcecanapulo 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 calcecanapulo 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 calcecanapulo e supporto, anche irregolare, che con questa tecnica è garantita. La macchina a spruzzo utilizzata da Batiethic<sup>23</sup> ha un rendimento di 4-8 m<sup>3</sup>/h e permette quindi la realizzazione di 60-100 m<sup>2</sup> di muro in calcecanapulo al giorno.

Come già sperimentato da diverse imprese è anche possibile realizzare la tecnica a spruzzo con macchine non specifiche ma con macchine più comuni adattate a tale tecnica.<sup>24</sup> In questo caso, prima dell'applicazione gli ugelli della macchina a spruzzo vanno regolati e va adattato il loro flusso e la loro pressione.

#### **3.2.4.2.2 I miscelatori**

La preparazione della miscela in calcecanapulo per applicazione manuale avviene normalmente in cantiere, poco prima dell'applicazione (una o due ore). Solo nel caso in cui venga realizzato un intonaco con calce aerea è possibile (e consigliato da alcuni esperti) preparare l'impasto il giorno prima per farlo legare meglio<sup>25</sup>.

E' preferibile utilizzare un **miscelatore ad asse planetario**, più indicato per il mescolamento di materiali eterogenei come il calcecanapulo e più capiente<sup>26</sup>. In assenza di questo macchinario è possibile l'utilizzo

---

22 Arch. S. Sabbadini

23 Impresa francese specializzata nella tecnica a spruzzo del calcecanapulo, autrice di molti interventi di recupero di edifici storici e di nuove costruzioni con questa tecnica in Francia, [www.batiethic.fr](http://www.batiethic.fr)

24 Macchina intonacatrice Euromair adattata allo spruzzo del calcecanapulo. Tecnica impiegata da INATER durante una sperimentazione della tecnica a spruzzo di Jerome Minet. Tale macchina essendo un adattamento di una macchina intonacatrice è più adatta all'applicazione di intonaci a spruzzo, piuttosto che per muri o massetti (O. Zaccanti).

25 [www.inater.net](http://www.inater.net)

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



Fig. 3.49-3.50 Macchina insufflatrice, prove insufflaggio di canapulo, Arch. S.Sabbadini



Fig. 3.51 Macchina a spruzzo di Batiethic , alimentazione

Fig. 3.52 Spruzzo con la macchina di Batiethic



Fig. 3.53 Adattamento della macchina Euromair, moduli di alimentazione

Fig. 3.54 Prova di spruzzo contro un supporto con la macchina Euromair

di una **betoniera a bicchiere** classica.

Per la miscelazione degli intonaci a base di grassello, si predilige l'impiego di un **miscelatore a vite senza fine**, che agevola la formazione di una miscela ben amalgamata, uniforme e cremosa.

### 3.2.4.3 Procedure di miscelazione

Come spiegato nei paragrafi precedenti nell'applicazione a spruzzo la miscelazione avviene all'interno della macchina a spruzzo.

Nell'applicazione manuale invece, per ottenere una corretta consistenza dell'impasto il processo di miscelazione va seguito con attenzione.

Sono possibili due diversi metodi di miscelazione della mescola:

1. viene miscelata prima l'acqua con la calce e il canapulo viene aggiunto quando acqua e legante si sono già amalgamati
2. vengono inseriti nel miscelatore per primi acqua e canapulo e la calce viene aggiunta dopo qualche minuto, quando il canapulo ha già assorbito buona parte dell'acqua

Le **“Règles professionnelles d'exécution d'Ouvrage en Béton de Chanvre”** riportano due procedure diverse a seconda che la miscelazione avvenga con una betoniera o con un miscelatore.

**“Procedura 1**, con betoniera:

- introdurre l'acqua e la calce
- miscelare a velocità bassa fino ad ottenere una barbottina omogenea
- introdurre il canapulo
- continuare la miscelazione a velocità minima fino ad ottenere un composto omogeneo

**Procedura 2**, con miscelatore:

- introdurre il canapulo e un terzo dell'acqua
- introdurre progressivamente la calce e il resto dell'acqua
- miscelare a velocità minima fino ad ottenere un composto omogeneo”<sup>27</sup>

Il manuale tecnico di **Equilibrium** riporta invece solo il secondo metodo e lo descrive come segue:

“- gettare il canapulo nel miscelatore e aggiungere acqua (10kg di canapa richiedono 20 litri circa di acqua)

- miscelare per 2-3 minuti, la canapa assorbirà l'acqua velocemente e diventerà leggermente umida
- aggiungere il legante lentamente e lasciare miscelare per 3-4 minuti.
- aggiungere acqua se necessario a seconda delle condizioni atmosferiche.
- applicare l'impasto entro 2 ore dalla miscelazione per la miscela 1:2,2 e entro 3 ore per la miscela 1:1”<sup>28</sup>

Il tipo di procedura da impiegare dipende molto da tipo di mescola. Le mescole magre ad esempio, con rapporto 1:1 o 1:2,2, sono più soggette alla creazione di pallottole durante la realizzazione dell'impasto e per evitare questo fenomeno è consigliabile utilizzare la procedura 1.

La procedura 2 serve invece a fare in modo che il canapulo non assorba troppo velocemente la calce facendola “bruciare”.<sup>29</sup>

Con entrambi i metodi è possibile arrivare alla stessa consistenza: l'impasto deve risultare umido ma non bagnato. Un test usato per verificare il corretto contenuto di acqua è quello di prendere una

---

<sup>27</sup> *Construire en Chanvre (2007), Les Règles Professionnelles d'Exécution d'Ouvrage en Béton de Chanvre, SEBTP*

<sup>28</sup> *Manuale tecnico di Equilibrium*

<sup>29</sup> *Jorgen Hempel, esperto svizzero in interventi di recupero con materiali isolanti naturali e con il calcecanapulo*



Fig. 3.55-3.56-3.57 Miscelatore a vite senza fine da cantiere Casatenovo, arch. S.Sabbadini



Fig. 3.58 Bicchiere del miscelatore ad asse planetario



Fig. 3.59 Impasto per la realizzazione di un massetto calpestabile, miscelatore ad asse planetario, Batiethic



Fig. 3.60-3.61 Miscelazione con betoniera classica



Fig. 3.62 Dosaggi di canapulo, calce ed acqua, pronti per la preparazione



Fig. 3.63 consistenza errata, formazione di pallottole



Fig. 3.64 Consistenza corretta da seminarario a Granara

manciata di impasto comprimerlo leggermente e riaprire la mano. Se la miscela rimane compatta 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 (Equilibrium, Manuale Tecnico).

Difetti della consistenza dell'impasto possono verificarsi quando gli ingredienti vengono aggiunti troppo rapidamente. Nel caso della procedura 1, è necessario far amalgamare molto bene la barbotina di calce prima di aggiungervi il canapulo, altrimenti vi è il rischio che nell'impasto restino grumi di sola calce. Altro rischio è la formazione di pallottole di calce e canapulo, che si possono formare se il canapulo viene aggiunto troppo rapidamente in una volta sola.

Anche nella procedura 2 la calce dev'essere inserita nel miscelatore man mano e solo dopo che il canapulo ha assorbito l'acqua per evitare la formazione di grumi (vedi figura 3.63).

L'acqua viene inserita invece in buona parte subito e successivamente è possibile aggiungere il quantitativo che serve a far amalgamare bene il tutto.

Al termine della miscelazione i macchinari devono essere abbondantemente risciacquati ed eventuali grumi di legante formati sulle braccia del miscelatore devono essere rimossi prima che la calce si secchi, rendendone molto più ostica la pulizia.

Quando le condizioni meteorologiche e il tempo a disposizione lo permettono 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. (Equilibrium, Manuale Tecnico).

### 3.2.5 APPLICAZIONE

L'applicazione del getto in calcecanapulo può essere effettuata a getto o 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 (vedi paragrafo 3.2.2). Massetti e riempimenti sia orizzontali che inclinati, possono



	Dosaggio	A mano	A macchina	Macchinario
Intonaco di finitura	-	X	X	Frattazzatrice meccanica
Intonaco isolante	1:8	X	X	Macchina a spruzzo
Controparete	1:2,2	X	X	Macchina a spruzzo
Muratura	1:2,2	X	X	Macchina a spruzzo
Riempimento verticale tra pannelli	1:1	X	X	Macchina insuflatrice
Massetto calpestabile	1:2,75	X	X	Macchina a spruzzo
Massetto isolante non calpestabile	1:1	X	X	Macchina a spruzzo
Riempimento di superficie orizzontale	1:1	X	X	Macchina a spruzzo
Riempimento di superficie inclinata	1:1	X	X	Macchina a spruzzo

Tab. 3.10 Metodi di applicazione del getto in calcecanapulo

essere indifferentemente realizzati con entrambi il sistema a mano o a spruzzo. Le finiture vengono invece applicate a mano, esse richiedono la manualità dell'operatore per la stesura dello strato finale e possono poi essere lavorate a mano o con 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.

Le applicazioni del getto in calcecanapulo sono svariate (vedi tabella 3.10)<sup>30</sup> e verranno descritte dettagliatamente nei paragrafi successivi.

### 3.2.6 ASCIUGATURA

La natura igroscopica del calcecanapulo 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 legata al tipo di legante utilizzato: se si usa unicamente calce aerea i tempi si prolungano 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 anche molto dai fattori climatici, si può considerare indicativamente un tempo di asciugatura di due o tre settimane<sup>31</sup> per

*30 da Construire en Chanvre (2007), Les Règles Professionnelles d'Exécution d'Ouvrage en Béton de Chanvre, SEBTP L'impiego di dosaggi con un quantitativo inferiore di calce rispetto a quello indicato nel caso degli intonaci isolanti è però molto frequente. Equilibrium ad esempio utilizza un dosaggio di 1:3, 1:4. Le ricette di alcuni artigiani francesi arrivano anche alla proporzione 1:2. L'intonaco di finitura non è menzionato nel testo francese, il suo dosaggio è normalmente uguale a quello dell'intonaco isolante.*

*31 Tempi di asciugatura medi per il clima del nord d'Italia nella stagione primaverile-estiva*

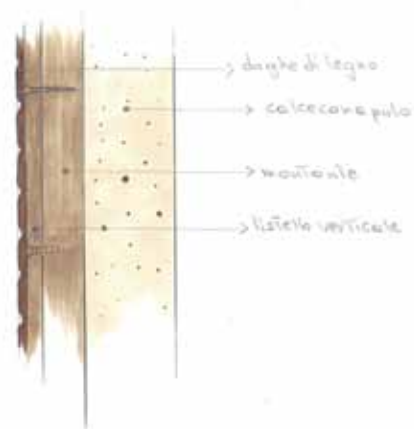


Fig. 3.65 Rivestimento in legno su muratura in getto in calcecanapulo

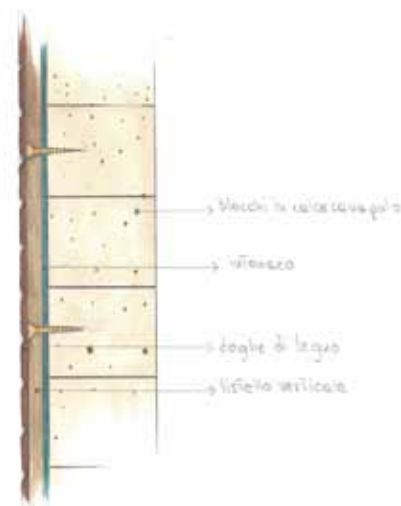


Fig. 3.66 Rivestimento in legno su muratura in blocchi in calcecanapulo

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 umidità dell'aria .

### 3.2.7 FINITURE E RIVESTIMENTI

Nella scelta di finiture e rivestimenti per superfici in calcecanapulo va innanzitutto considerata la capacità di traspirabilità del materiale. Esso non dovrebbe infatti ostacolare in alcun modo la permeabilità al vapore del calcecanapulo. Per questo non possono essere applicate vernici e intonaci a base di polimeri, ma sono invece indicate finiture a base di calce, di calcecanapulo e di terra. Internamente questi materiali naturali, disponibili in moltissime tonalità e sfumature conferiscono all'ambiente una sensazione calda, oltre a contribuire alla salubrità dell'ambiente interno. Esternamente, dove il contatto con gli agenti atmosferici non permette l'impiego di intonaci in calcecanapulo e in terra è indicato l'impiego di intonaci a base di calce oppure di rivestimenti in legno. I rivestimenti in legno vengono fissati a un'orditura esterna di listelli, agganciata alla struttura in legno, formando una facciata ventilata. (vedi figura...). 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 15 giorni l'uno dall'altro, in questo modo con la seconda passata possono essere corrette le eventuali difformità createsi dopo l'asciugatura del primo strato. In caso di clima molto secco e 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 (vedi figura....).

### 3.3 TECNICHE COSTRUTTIVE CON IL CALCECANAPULO

La varietà di elementi costruttivi realizzabili con l'impasto in calcecanapulo, a seconda delle combinazioni di dosaggio e di ingredienti, è molto vasta. Allo scopo di contribuire alle concrete possibilità di sviluppo di questo materiale è stata effettuata una ricerca della totalità delle tecniche costruttive ad oggi sviluppate. Questa catalogazione è stata organizzata con uno schema che parte dalla miscela di calcecanapulo e che si ramifica fino alle singole tecniche costruttive.

I livelli dello schema sono i seguenti:

1. tipologia di messa in opera (preparazione della miscela in cantiere oppure prefabbricazione)
2. metodo di applicazione (a spruzzo o a getto)
3. applicazione (intonaco, controparete, muratura, massetto, riempimento)
4. tecnica costruttiva

Ogni tecnica costruttiva viene qui di seguito illustrata tramite una sua breve descrizione, le proporzioni di canapulo e calce della sua miscela, la procedura di preparazione della miscela, le fasi della sua messa in opera, i suoi campi di impiego e le precauzioni necessarie alla sua realizzazione. I campi di impiego indicati in ogni tecnica trovano riferimento nei pacchetti costruttivi da noi messi a punto nel capitolo 4. Le procedure di miscelazione fanno invece riferimento alle descrizioni contenute nel paragrafo 3.2.4.3 di questo capitolo.

Nella descrizione delle tecniche, particolare attenzione viene data agli accorgimenti pratici e ai fattori della messa in opera che più influiscono sul rendimento meccanico e termico dell'elemento costruttivo. I dosaggi indicati fanno riferimento dove possibile, alle "Règles Professionnelles d'execution d'Ouvrage en Béton de Chanvre"<sup>32</sup> approvate dagli enti francesi.<sup>33</sup> Laddove sono stati messi a punto anche dei dosaggi italiani (Equilibrium) essi vengono indicati ed affiancati a quelli francesi.

Le fasi di messa in opera e la documentazione fotografica sono invece il risultato di una integrazione tra le informazioni contenute nella documentazione francese citata e il materiale raccolto da imprese francesi, belghe, inglesi ed italiane utilizzatrici del materiale. Altre fonti di riferimento importanti per la stesura del seguente lavoro sono il materiale contenuto nelle interviste e schede tecniche di alcuni seminari e cantieri scuola effettuati in Italia e in Francia sulla costruzione in calcecanapulo<sup>34</sup> oltre alla documentazione da noi prodotta tramite la visita ad alcuni cantieri attualmente in opera<sup>35</sup> e a quella prodotta tramite la nostra esperienza diretta di messa in opera del materiale<sup>36</sup>. Questo lavoro è perciò un'integrazione tra le nozioni tecniche e scientifiche raccolte dalla bibliografia e le osservazioni ed accorgimenti pratici, basate sull'esperienza, tratte dalle osservazioni degli operatori di cantiere stessi formati su questa tecnica.

Verranno descritte, oltre alle tecniche consolidate e certificate dalle aziende produttrici, anche alcune tecniche costruttive impiegate e messe a punto da piccole imprese artigiane pioniere di questo materiale, nonché alcune tecniche ancora in fase di sperimentazione.

---

<sup>32</sup> *Construire en Chanvre (2007), Les Règles Professionnelles d'Exécution d'Ouvrage en Béton de Chanvre, SEBTP*

<sup>33</sup> *I prodotti presi in considerazione: canapulo distribuito in balle compresse e premiscelato di calce composto da 75 % di calce aerea di cui 98% è Ca(OH)<sub>2</sub>, 15 % calce idraulica, 10 % pozzolana.*

<sup>34</sup> *INATER, www.inater.net*

<sup>35</sup> *Cantiere di ristrutturazione di un'unità abitativa di un edificio a corte a Casatenovo (LC)*

<sup>36</sup> *Sperimentazioni nel villaggio ecologico di Granara e nel Cantiere di ristrutturazione di un'unità abitativa di un edificio a corte a Casatenovo (LC)*



### **3.3.1 PREPARAZIONE IN CANTIERE**

La messa in opera del calcecanapulo si differenzia a seconda che la mescola venga preparata in cantiere oppure che essa venga preparata in stabilimento (per la realizzazione di elementi prefabbricati). Nel primo caso essa può essere applicata a diversi elementi costruttivi secondo due metodologie: quella manuale oppure quella a spruzzo. In entrambi i casi la preparazione in cantiere del calcecanapulo ha il vantaggio di rendere possibile la realizzazione di elementi monolitici che inglobano la struttura portante al loro interno e permette una perfetta continuità dell'isolamento.

#### **3.3.1.1 APPLICAZIONE MANUALE**

La messa in opera del calcecanapulo con getto manuale non necessita di alcun macchinario al di fuori del miscelatore ed è per questo da prediligere per progetti di piccole dimensioni o per progetti di autoconstruzione. Le tecniche costruttive con questo tipo di messa in opera si rivelano di semplice applicazione, ma devono essere eseguite seguendo alcune regole ed accortezze, acquisibili dagli operatori di cantiere durante dei brevi corsi di formazione e da consolidare mediante l'esperienza. L'impasto amorfo prende forma mediante il suo getto in casseri, nel caso dei muri, oppure nei volumi definiti dagli elementi che lo contengono, nel caso dei riempimenti di solai o dei riempimenti tra pannelli verticali. Alternativamente, nel caso degli intonaci, esso prende forma tramite la sua stesura sulla superficie per mezzo di fratazzi e spatole, e acquisisce diversi tipi di finitura superficiale a seconda del tipo di lavorazione.

Un aspetto di rilievo della fase di applicazione del materiale nei casseri o nei casseri a perdere è la costipazione manuale che deve essere effettuata man mano che l'impasto viene inserito. Il livello di pressione dell'azione di costipazione è molto variabile a seconda dell'operatore che la esegue, per questo è importante stabilire una certa uniformità nella modalità di costipazione, perché da essa influenza direttamente i livelli di densità e di isolamento del materiale.

Altro aspetto degno di nota è quello dell'asciugatura, che nel caso del calcecanapulo messo in opera manualmente è più lunga di quella della messa in opera a spruzzo. Questo è dovuto al fatto che il materiale deve asciugare contemporaneamente in tutto il suo spessore, mentre nella posa a spruzzo, esso viene applicato a strati e questo facilita l'essiccazione. Per facilitare l'asciugatura, in particolare di grandi spessori, è infatti richiesto il mantenimento di un buon livello di ventilazione naturale.

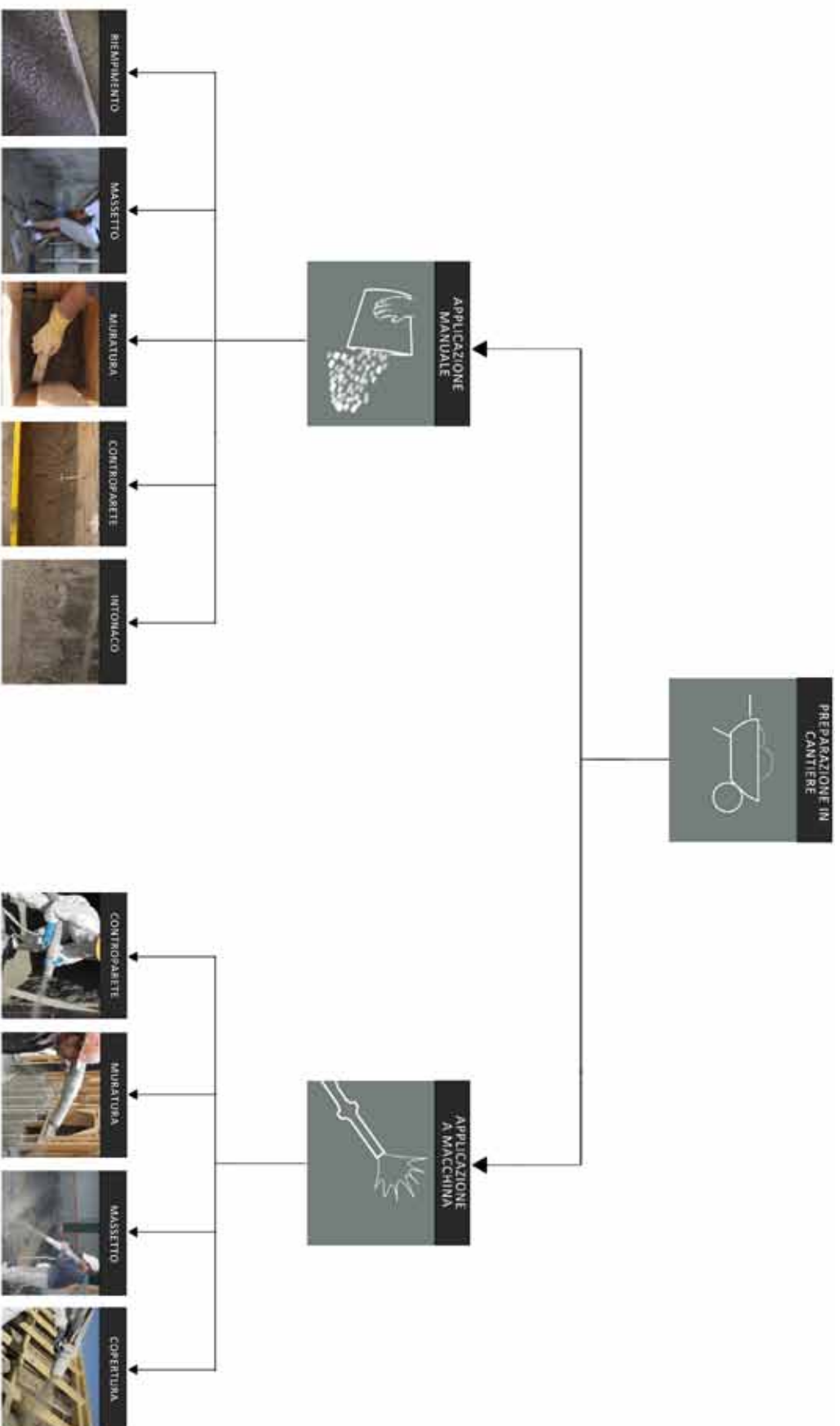


Fig. 3. 67 Schema preparazione del cantiere

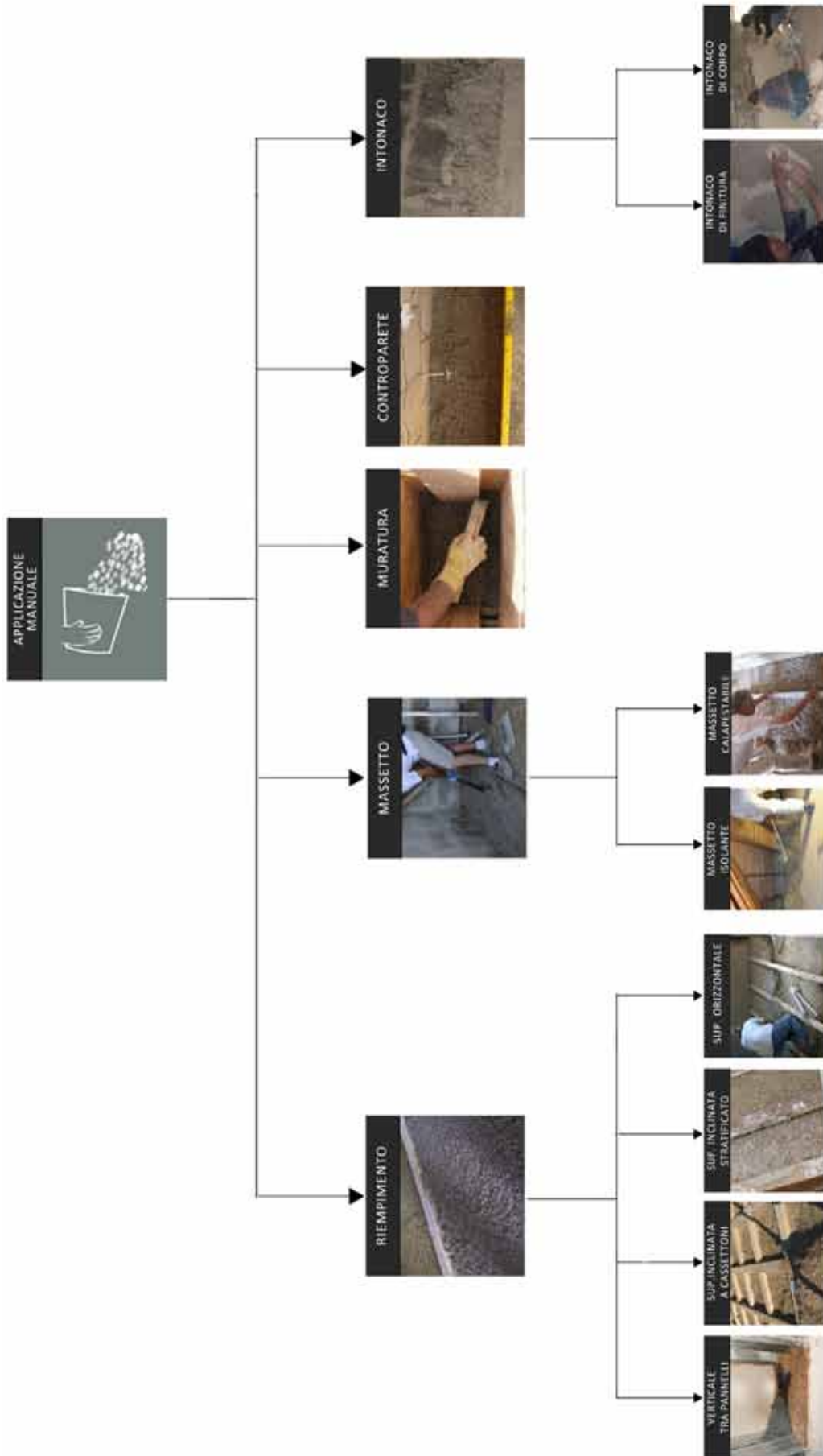


Fig. 3.68 Schema applicazione manuale

### 3.3.1.1.1 RIEMPIMENTO MANUALE DI SUPERFICE ORIZZONTALE



Fig. 3.69 Riempimento manuale del solaio con calcecanapulo

#### Miscela

MATERIALI	DOSI (kg)
Canapulo Chanvribat 20 < L < 30 mm	1
Calce premiscelata Tradical PF 70	1

Dosaggio in peso, tratto da Construire en Chanvre (2007)

#### Descrizione

Il calcecanapulo può essere utilizzato per l'isolamento di solai e coperture orizzontali in legno, tramite il riempimento delle campate tra i travetti. Questa tecnica permette di ottenere un isolamento continuo e stabile intorno alla struttura e nel caso di coperture o solai confinanti con ambienti umidi le proprietà igrometriche del calcecanapulo sono utili alla gestione dell'umidità. L'impasto impiegato per questa tecnica è più leggero di quello impiegato per muri e massetti, così da essere più isolante, non necessitando alcun livello di resistenza meccanica.

Questo strato può anche svolgere la funzione di contenimento degli impianti idrici ed elettrici che vengono in esso annegati.

Sono possibili entrambe le procedure di miscelazione 1 e 2 (vedi paragrafo 3.2.4.3).

Il trasporto al punto di applicazione avviene per mezzo di contenitori da 50-100 litri o per mezzo di nastro trasportatore con inclinazione massima di 45°.<sup>37</sup>

Per la messa in opera del calcecanapulo, in caso di ristrutturazione è necessario aggiungere ai travetti esistenti uno spessore a seconda del grado di isolamento che si vuole ottenere. Successivamente va verificato che la superficie sia impermeabile alla polvere e se così non fosse è necessario applicare una membrana traspirante sull'assito. Il riempimento avviene gettando l'impasto tra i travetti come fossero dei casseri. Successivamente l'impasto viene livellato con un rastrello e leggermente compattato. Quest'operazione può essere effettuata con un frattazzo di legno, facendo attenzione a non pressare eccessivamente, per preservare la capacità isolante dell'impasto. Quando il getto è asciutto è possibile applicare il rivestimento. Un rivestimento idoneo a questa tecnica è la pavimentazione in parquet inchiodato su lastre di fibra di gesso, perché essendo un sistema a secco non riscontra problemi ad essere applicato su una superficie disomogenea quale quella dei travetti alternati al calcecanapulo,

<sup>37</sup> Equilibrium, manuale tecnico, [www.equilibrium-bioedilizia.com](http://www.equilibrium-bioedilizia.com)



che potrebbe invece risultare problematica per la posa di uno strato umido necessario per piastrelle o parquet inchiodato su magatelli.<sup>38</sup>

Il riempimento necessita di un periodo di asciugatura di circa 3 settimane, ma questa tempistica è variabile a seconda delle condizioni meteorologiche.<sup>39</sup>

### Campi d'impiego

Questa tecnica può essere impiegata in abbinamento con solai tradizionali in legno (vedi pacchetti costruttivi B'1c), solai in legno pieno (vedi pacchetti costruttivi B1c) e può essere ipotizzata una sua applicazione in solai prefabbricati in legno (vedi pacchetti costruttivi B1c).

Foto scattate in cantiere di ristrutturazione di un'unità abitativa nella Cascina Corte Sacro Cuore, Casatenovo, (LC):



Fig. 3.70 Getto dell'impasto



Fig. 3.71 Livellamento



Fig. 3.72 Leggera compattazione



Fig. 3.73 Risultato finale

---

<sup>38</sup> Arch. S.Sabbadini

<sup>39</sup> Dall'osservazione del cantiere di Cascina Corte Sacro Cuore, Casatenovo, dell'arc. S.Sabbadini

### 3.3.1.1.2 RIEMPIMENTO MANUALE STRATIFICATO DI SUPERFICIE INCLINATA



Fig. 3.74 Riempimento del solaio a strati alternati di canapulo e latte di calce, ANAB, (2011), Presentazione Cantiere Scuola: isolanti naturali, S.Matteo della Decima

#### Miscela

MATERIALI	DOSI (kg)
Canapulo 20 < L < 30 mm	-
Calce premiscelata	-

Dosaggio in peso, tratto da Construire en Chanvre (2007)

#### Descrizione

Per l'isolamento di coperture inclinate è stato messo a punto un sistema di riempimento con canapulo sfuso stratificato con della boiaccia di calce<sup>40</sup>. In questa tecnica il canapulo viene versato tra i travetti e bagnato con della boiaccia di calce circa ogni 5 cm. Questo metodo è volto a sfruttare la capacità isolante del canapulo combinandola alla rigidità della calce, utilizzata in un quantitativo inferiore rispetto a quella necessaria all'impasto di calcecanapulo con proporzione 1:1. L'aggiunta della calce è resa necessaria dall'inclinazione del tetto la cui forza di gravità provocherebbe lo scivolamento del canapulo verso il basso. Attraverso la bagnatura di calce gli strati di canapulo vengono fermati in posizione oltre ad essere protetti da eventuali attacchi di insetti. Questo sistema è caratterizzato da una maggiore velocità di posa rispetto alla tecnica del riempimento in calcecanapulo perché esclude tutta la fase di miscelazione.

La boiaccia di calce viene preparata mescolando manualmente acqua e calce in modo da ottenere una miscela liquida ed omogenea.

Il trasporto del canapulo al punto di applicazione avviene normalmente per mezzo di sacchi da 150, 200 l. La barbotina di calce può essere invece miscelata direttamente in corrispondenza del punto di applicazione.

Nel caso di ristrutturazioni può essere necessario, prima di applicare il riempimento, aggiungere uno spessore ai travetti esistenti per raggiungere lo spessore necessario al riempimento (20 cm per  $U = 0,21 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ ).

Successivamente è necessario verificare che la superficie sia impermeabile alla polvere e se così non fosse va applicata sopra all'assito una membrana antipolvere (tipo Kraft).

<sup>40</sup> Sistema messo a punto da Easy Chanvre e sperimentato nel cantiere di INATER di S.Matteo della Decima e nel cantiere di Casatenovo dell'Arch. S.Sabbadini

Il canapulo sfuso viene versato tra i travetti per creare uno strato di 5 cm di spessore che viene poi livellato e leggermente costipato con le mani o con un frattazzo di legno. Su questo strato viene spruzzata della boiaccia di calce con una pennellina. Quest'operazione viene ripetuta per le volte necessarie ad arrivare allo spessore dei travetti. L'ultimo strato è costituito da canapulo, così che lo strato a contatto con l'assito sia uno strato asciutto. Sopra ai travetti viene poi applicata la membrana impermeabile ad alta traspirabilità per coperture e viene applicato il manto di copertura.

Dato il suo esiguo spessore l'asciugatura dello strato di calce è quasi immediata, non è perciò necessario lasciar intercorrere del tempo tra il riempimento e la posa del manto di copertura.

### Campi d'impiego

Tecnica utilizzata con coperture inclinate in legno (vedi pacchetto costruttivo A3aa4).

Foto scattate in cantiere di ristrutturazione di un'unità abitativa nella Cascina Corte Sacro Cuore, Casatenovo, (LC):



Fig. 3.75 Preparazione della boiaccia di calce



Fig. 3.76 Distribuzione del canapulo sfuso nelle campate



Fig. 3.77 Livellamento in strati da 5 cm



Fig. 3.78 Leggera costipazione



Fig. 3.79 Applicazione della boiaccia di calce

### 3.3.1.1.3 RIEMPIMENTO A CASSETTONI DI SUPERFICIE INCLINATA



Fig. 3.80 Riempimento a cassettoni, Zaccanti O., (2011), Presentazione Isolanti Naturali, ANAB

#### Miscela

MATERIALI	DOSI (kg)
Canapulo Chanvribat 20 < L < 30 mm	1
Calce premiscelata Tradical PF 70	1

Dosaggio in peso, tratto da Construire en Chanvre (2007)

MATERIALI	DOSI (kg)
Canapulo Canabrium	1
Calce Natural Lime Binder	1

Dosaggio in peso, Equilibrium, EquilibrioNaturaleCostruito

#### Descrizione

L'isolamento di coperture inclinate può essere effettuato tramite riempimento con calcecanapulo. Per evitare lo scivolamento del calcecanapulo verso il basso prima della posa dei travetti può essere realizzato un sistema a cassettoni con listelli di legno alti quanto lo spessore del riempimento fissati perpendicolarmente gli uni agli altri, creando dei cassettoni. In questo sistema a cassettoni vengono poi fissati i travetti e applicato il calcecanapulo<sup>41</sup> (vedi pacchetto costruttivo A3aa3). In questo modo viene agevolata la distribuzione omogenea del calcecanapulo lungo tutta la superficie inclinata. Una alternativa a questo sistema è quella di utilizzare un sistema di travetti a doppia orditura perpendicolare sovrapposti e riempire con calcecanapulo lo spessore totale dei due travetti.

Sono possibili entrambe le procedure di miscelazione 1 e 2 (vedi paragrafo 3.2.4.3).

Il trasporto al punto di applicazione avviene per mezzo di contenitori da 50-100 litri o per mezzo di nastro trasportatore con inclinazione massima di 45°.<sup>42</sup>

Prima dell'applicazione del calcecanapulo è necessario verificare che la superficie sia impermeabile alla polvere e se così non fosse va applicata sopra all'assito una membrana antipolvere (tipo Kraft).

Per la realizzazione del riempimento l'impasto viene gettato nei cassettoni come se fossero dei casseri. Successivamente l'impasto viene livellato con un rastrello e leggermente compattato.<sup>43</sup> Quando il getto è asciutto viene applicata una membrana idrorepellente altamente traspirante (tipo Ecofil) e può essere posato il manto di copertura.<sup>44</sup>

41 Sistema utilizzato da EasyChanvre, [www.easychanvre.com](http://www.easychanvre.com)

42 Equilibrium, manuale tecnico, [www.equilibrium-bioedilizia.com](http://www.equilibrium-bioedilizia.com)

43 Equilibrium, manuale tecnico, [www.equilibrium-bioedilizia.com](http://www.equilibrium-bioedilizia.com)

44 Equilibrium consiglia di lasciare vuoti gli ultimi 2 cm di spessore, per avere un'areazione tra il calcecanapulo e la membrana

L'asciugatura del riempimento di copertura in calcecanapulo avviene in circa 3 settimane (Bevan & Woolley). Se le condizioni meteorologiche lo permettono è utile lasciare la copertura scoperta per parte di questo tempo. Se invece le condizioni non lo permettono il manto di copertura può essere messo in opera subito dopo il getto a condizione che vi sia sufficiente ventilazione.<sup>45</sup>

### Campi d'impiego

Questa tecnica può essere impiegata in abbinamento con coperture inclinate in legno (vedi pacchetto costruttivo A3aa3). Questo sistema viene anche impiegato per il riempimento con canapulo sfuso.



Fig. 3.81 Riempimento in calcecanapulo con doppia orditura di listelli in legno, [www.equilibrium-bioedilizia.it](http://www.equilibrium-bioedilizia.it)



Fig. 3.83 Applicazione del calcecanapulo alla struttura a cassettoni da Zaccanti O., (2001), Usiamo le Energie



Fig. 3.84 Realizzazione della struttura a cassettoni da Zaccanti O., (2001) Presentazione Usiamo le Energie

---

45 *Construire en Chanvre* (2007), *Les Règles Professionnelles d'Exécution d'Ouvrage en Béton de Chanvre*, SEBTP

### 3.3.1.1.4 RIEMPIMENTO VERTICALE TRA PANNELLI



Fig. 3.85 Riempimento fra pannelli, Equilibrium, (2012) Presentazione Cantiere Scuola ANAB, tecniche in calce e canapa

#### Miscela

MATERIALI	DOSI (kg)
Canapulo Canabium	1
Calce Natural Lime Binder	1

Dosaggio in peso, tratto da Equilibrium

#### Descrizione

Il sistema di riempimento verticale tra pannelli è volto all'ottenimento di una parete di tamponamento con una capacità isolante maggiore rispetto a quella in muratura in calcecanapulo con proporzione 1:2,2.<sup>46</sup> Per questo sistema viene infatti utilizzata una miscela 1:1, che conferisce al tamponamento una trasmittanza pari a  $U = 0.26 \text{ w/m}^2\text{k}$  per una parete di 20 cm.

La maggiore leggerezza e capacità isolante del calcecanapulo 1:1 va però a discapito della sua rigidità e resistenza meccanica. Queste funzioni sono infatti svolte dal pannello rigido di contenimento (tipo Megapan  $\rho = 1150 \text{ kg/m}^3$ ). Va impiegato un pannello altamente resistente all'umidità presente nel getto e contemporaneamente traspirante, cosicché le sue caratteristiche non ostacolino la capacità del calcecanapulo di regolare l'umidità dell'ambiente e che non venga eccessivamente rallentato il tempo di asciugatura dell'impasto.

Il sistema per ora sperimentato prevede un telaio metallico di sostegno per i pannelli, ma è ipotizzabile la sostituzione del telaio metallico con un telaio ligneo.

Il sistema impiegato da Equilibrium prevede la preparazione della miscela in stabilimento e il suo trasporto in cantiere per mezzo di big bag da 2,5 mc. E' però anche possibile realizzare la miscela in cantiere come per le altre applicazioni secondo le procedure di miscelazione 1 e 2 (vedi paragrafo 3.2.4.3).

Prima del getto del calcecanapulo dev'essere realizzato il telaio metallico (o ligneo) di sostegno dei pannelli. Questo consiste in un doppio telaio di montanti in ferro zincato con interasse ravvicinato (circa 40 cm). Ai montanti vengono fissati i pannelli fino ad un'altezza che renda possibile il getto del calcecanapulo.<sup>47</sup>

<sup>46</sup> Sistema messo a punto da Equilibrium con il nome di Equilibrium Wall, [www.equilibrium-bioedilizia.com](http://www.equilibrium-bioedilizia.com)

<sup>47</sup> Dal cantiere di Casatenovo (LC) curato da Equilibrium

Il riempimento viene effettuato versando manualmente l'impasto nei casseri a perdere, costipando leggermente l'impasto in posizione. Mano a mano che si avanza con il getto vengono poi fissati i casseri superiori.

Aspetto delicato di questo sistema è la sua modalità di asciugatura, essa desta diversi dubbi nei professionisti riguardo alle tempistiche di asciugatura dell'impasto, che trovandosi costretto tra due pannelli, seppur altamente traspiranti, potrebbero avere tempi di asciugatura molto lunghi.

La tempistica indicata da Equilibrium per un muro di 30 cm realizzato con questo sistema è di circa 4 settimane, tenendo conto della variabilità di questa tempistica in base alle condizioni atmosferiche e rispettando una condizione di ventilazione naturale dell'ambiente per tutto il periodo.

### Campi d'impiego

Il sistema di riempimento tra pannelli può essere utilizzato in abbinamento con telai in legno o telai in ferro zincato (vedi pacchetto costruttivo A2c1).<sup>48</sup>

Foto da Equilibrium, (2012) Presentazione Cantiere Scuola ANAB, tecniche in calce e canapa, Casatenovo:



Fig. 3.86 Trasporto al punto di applicazione tramite big bag da 2,5 m<sup>3</sup>



Fig. 3.87 Costruzione del telaio metallico



Fig. 3.88 Applicazioni dei pannelli



Fig. 3.89 Getto tra i pannelli

<sup>48</sup> Nel caso della ristrutturazione a Casatenovo (LC) curata da Equilibrium è stato utilizzato un telaio metallico in una struttura in calcestruzzo armato esistente.

### 3.3.1.1.5 MASSETTO CALPESTABILE CON POSA MANUALE



Fig. 3.90 Massetto calpestabile in calcecanapulo, ANAB, (2011), Presentazione Cantiere Scuola: isolanti naturali, S.Matteo della Decima

#### Miscela

MATERIALI	DOSI (kg)
Canapulo Chanvribat 20 < L < 30 mm	1
Calce premiscelata Tradical PF 70	2,75

Dosaggio in peso, tratto da Construire en Chanvre (2007)

MATERIALI	DOSI (kg)
Canapulo Canabrium	1
Calce Natural Lime Binder	2,2

Dosaggio in peso, Equilibrium, EquilibrioNaturaleCostruito

#### Descrizione

Il massetto in calcecanapulo ha funzione isolante e non ha alcuna funzione portante. La resistenza meccanica del solaio con massetto in calcecanapulo è infatti garantita unicamente dalla struttura portante.<sup>49</sup> Esso può essere utilizzato anche come spessore contenente le tubazioni degli impianti idrici ed elettrici, che vengono posizionati prima del getto ed annegati nel suo spessore. Questo tipo di massetto viene normalmente abbinato a solai in legno, ma nella presente tesi è stato anche abbinato, nell'ipotesi di un intervento di recupero, a solai in laterocemento (vedi pacchetti costruttivi B'1ba). Esso viene anche impiegato nel massetto controterra, in questo caso viene applicato sopra allo strato di calce e sabbia soprastante il vespaio areato.

Esso viene applicato con getto manuale in spessori di 15-20 cm<sup>50</sup> direttamente sull'assito e nel caso di assito in legno sopra a una membrana antipolvere. E' possibile l'applicazione di diversi tipi di rivestimento, quali piastrelle, parquet o eventuali rivestimenti morbidi.<sup>51</sup>

Sono possibili entrambe le procedure di miscelazione 1 e 2 (vedi paragrafo 3.2.4.3).

Il trasporto al punto di applicazione avviene per mezzo di carriola se al piano terreno oppure se ai piani superiori per mezzo di contenitori da 50-100 litri o per mezzo di nastro trasportatore con inclinazione massima di 45°.<sup>52</sup>

La superficie sulla quale viene applicato il getto deve essere pulita, e nel caso di una superficie non impermeabile alla polvere dev'essere applicata una membrana antipolvere.

49 Construire en Chanvre (2007), Les Règles Professionnelles d'Exécution d'Ouvrage en Béton de Chanvre, SEBTP

50 Per i limiti normativi italiani di trasmittanza sono però necessari spessori di 20-22 cm come dimostrato nel capitolo 5, nei pacchetti costruttivi B'1b e B1b

51 Construire en Chanvre (2007), Les Règles Professionnelles d'Exécution d'Ouvrage en Béton de Chanvre, SEBTP

52 Equilibrium, manuale tecnico, [www.equilibrium-bioedilizia.com](http://www.equilibrium-bioedilizia.com)



L'impasto viene versato sulla superficie e dev'essere steso in maniera omogenea. Successivamente dev'essere livellato con una staggia in modo da ottenere una superficie piana. In questa fase va evitato di pressare troppo il getto per preservare le sue prestazioni termiche ed acustiche.

Successivamente viene applicato lo strato di contenimento dell'impianto di riscaldamento o lo strato necessario al tipo di pavimentazione. Nel caso di riscaldamento a pavimento questo può essere realizzato con un massetto di calce e sabbia le cui caratteristiche non ostacolano quelle del calcecanapulo. Gli impianti vengono perciò fissati al getto in calcecanapulo asciutto e sopra viene gettato l'impasto di calce e sabbia (vedi figura 3.94-3.95).

Sopra a questo strato può essere posato un parquet o una pavimentazione in piastrelle (vedi figura 3.96). È importante che qualsiasi sia la tecnica utilizzata per la realizzazione della pavimentazione, l'umidità sia in grado di evaporare.

Per questo materiale non è richiesta l'applicazione di alcun freno al vapore data la sua capacità igrometrica.

Il massetto necessita di un periodo di asciugatura di circa 4 settimane prima della messa in opera del rivestimento.<sup>53</sup> Le tempistiche sono variabili a seconda delle condizioni meteorologiche.

### **Campi di impiego**

Questa tecnica può essere impiegata in abbinamento con solai tradizionali in legno (vedi pacchetti costruttivi B1ba), solai esistenti in laterocemento (vedi pacchetti costruttivi B'1ba) o per solai controterra (vedi pacchetti costruttivi B1b).



Fig. 3.91 Trasporto tramite carriola, ANAB, (2011), Presentazione Cantiere Scuola: isolanti naturali, S.Matteo della Decima



Fig. 3.92 Stesura del massetto, ANAB, (2011), Presentazione Cantiere Scuola: isolanti naturali, S.Matteo della Decima



Fig. 3.93 Livellamento, ANAB, (2011), Presentazione Cantiere Scuola: isolanti naturali, S.Matteo della Decima



Fig. 3.94 Posa impianto di riscaldamento da Technichanvre, Cahier\_techniques\_DALLAGE, [www.technichanvre.com](http://www.technichanvre.com)



Fig. 3.95 Posa del massetto di calce e sabbia da Technichanvre, Cahier\_techniques\_DALLAGE, [www.technichanvre.com](http://www.technichanvre.com)



Fig. 3.96 Posa delle piastrelle da Technichanvre, Cahier\_techniques\_DALLAGE, [www.technichanvre.com](http://www.technichanvre.com)

### 3.3.1.1.6 MASSETTO ISOLANTE AD APPLICAZIONE MANUALE



Fig. 3.97 Massetto isolante in calcecanapulo, Dispensa corso Equilibrium (2011), Costruire e ristrutturare con calce e canapa

#### Miscela

MATERIALI	DOSI (kg)
Canapulo Chanvribat 20 < L < 30 mm	1
Calce premiscelata Tradical PF 70	1

Dosaggio in peso, tratto da Costruire en Chanvre (2007)

MATERIALI	DOSI (kg)
Canapulo Canabrium	1
Calce Natural Lime Binder	1

Dosaggio in peso, Equilibrium, EquilibrioNaturaleCostruito

#### Descrizione

Il calcecanapulo può essere utilizzato per la realizzazione di massetti non calpestabili per l'isolamento di sottotetti. Si tratta di interventi di coibentazione che apportano effetti benefici alla prestazione energetica dell'intero edificio. Il calcecanapulo oltre a svolgere la funzione isolante è capace di regolare l'umidità spesso presente in corrispondenza della copertura.

L'impasto usato per questa applicazione ha una densità inferiore a quello utilizzato per la realizzazione di muri o massetti calpestabili perché la sua funzione è unicamente di regolazione termica ed igrometrica e non è richiesto alcun livello di resistenza meccanica, il dosaggio di calce è perciò inferiore e le proprietà isolanti maggiori.

Sono possibili entrambe le procedure di miscelazione 1 e 2 (vedi paragrafo 3.2.4.3).

Il trasporto al punto di applicazione avviene per mezzo di contenitori da 50-100 litri o per mezzo di nastro trasportatore con inclinazione massima di 45°.<sup>54</sup>

La superficie sulla quale viene applicato il getto deve essere pulita, e nel caso di una superficie non impermeabile alla polvere dev'essere applicata una membrana antipolvere.

L'impasto viene versato sulla superficie e dev'essere steso in maniera da rendere lo strato omogeneo, così da assicurare un isolamento continuo lungo il solaio. Successivamente può essere livellato con una staggia in modo da ottenere una superficie piana, ma trattandosi di un massetto non calpestabile in un locale non abitabile questa fase può anche essere trascurata.

Il massetto necessita di un periodo di asciugatura di circa 4 settimane, ma questa tempistica è variabile a seconda delle condizioni meteorologiche.<sup>55</sup>

<sup>54</sup> Equilibrium, manuale tecnico, [www.equilibrium-bioedilizia.com](http://www.equilibrium-bioedilizia.com)

<sup>55</sup> Costruire en Chanvre (2007), Les Règles Professionnelles d'Exécution d'Ouvrage en Béton de Chanvre, SEBTP

### Campi d'impiego

Questa tecnica può essere applicata a solai esistenti tradizionali in legno (vedi pacchetti costruttivi B1bb) e solai in laterocemento (vedi pacchetti costruttivi B'1bb).

Foto scattate in cantiere di ristrutturazione di un'unità abitativa nella Cascina Corte Sacro Cuore, Casatenovo, (LC):



Fig. 3.98 Trasporto dell'impasto al punto di applicazione



Fig. 3.99 Applicazione dek massetto isolante sul solaio



Fig. 3.100 Massetto isolante del sottotetto



Fig. 3.101 Massetto isolante del sottotetto

### 3.3.1.1.7 MURATURA A GETTO



Fig. 3.102 Compattazione di muratura in calcecanapulo, Progetto INATER, foto, [www.inater.net](http://www.inater.net)

#### Miscela

MATERIALI	DOSI (kg)
Canapulo Chanvribat 10 < L < 20 mm	1
Calce premiscelata Tradical PF 70	2,2

Dosaggio in peso, tratto da Construire en Chanvre (2007)

MATERIALI	DOSI (kg)
Canapulo Canabrium	1
Calce Natural Lime Binder	2,2

Dosaggio in peso, Equilibrium, EquilibrioNaturaleCostruito

#### Descrizione

La tecnica del getto in calcecanapulo per il tamponamento dei muri può essere impiegata sia nelle nuove costruzioni che nelle ristrutturazioni di edifici con struttura in legno. Questi tamponamenti vengono realizzati gettando l'impasto di calcecanapulo in casseri fissati alla struttura in modo che questa risulti centrale rispetto ad essi. E' anche possibile disporre i casseri in modo che la struttura risulti a filo interno o esterno della parete; nel caso di un rivestimento esterno in legno, ad esempio, la struttura va disposta a filo esterno, così da potervi ancorare il rivestimento. A seconda delle necessità è anche possibile realizzare pareti in calcecanapulo con pannelli rigidi traspiranti che funzionano da casseri a perdere (sistema più usato con l'applicazione a spruzzo).

Questa tecnica permette una ampia libertà formale. Le pareti così ottenute sono completamente realizzate con materiali naturali e sono monolitiche, caratteristica che riduce al minimo il rischio di formazione di ponti termici. Gli spessori di queste pareti è di 30-40 cm.

La preparazione della miscela usata per i muri può essere effettuata secondo entrambe le procedure di miscelazione 1 e 2 (vedi paragrafo 3.2.4.3).

In caso di intervento in un edificio esistente prima di iniziare con l'applicazione del getto è necessario proteggere i serramenti, e il pavimento.

In caso di nuova costruzione il getto verrà effettuato su un cordolo rialzato di almeno 15 cm da terra. Inoltre intorno al punto di applicazione il pavimento deve essere pulito per agevolare la raccolta e il riuso della miscela caduta a terra.

Innanzitutto è necessario verificare che i casseri siano ben puliti. Poi questi vengono fissati alla struttura tramite dei distanziatori in legno (vedi figura 3.104) in modo da creare uno spazio di 30-40 cm.

Il getto viene effettuato a mano, versando l'impasto nei casseri per strati successivi di circa 20 cm che vengono leggermente compattati man mano. In questa fase è importante mantenere una intensità

di compattazione uniforme per l'intera applicazione, altrimenti la parete non risulta uniforme e vi è la possibilità di formazione di fori o di starti troppo compattati. Una volta raggiunto il soffitto con la cassetta, lo spazio restante di 5-10 cm può essere più agevolmente riempito manualmente.

In questa tecnica i casseri possono essere rimossi dopo 12-20 minuti.<sup>56</sup> Subito dopo eventuali buchi possono essere riempiti con l'impasto rimasto.

Una volta terminato il getto è necessario attendere la sua asciugatura per applicarvi una finitura. Il getto deve essere fatto asciugare naturalmente, senza l'uso di ventilatori, in un ambiente sufficientemente ventilato, per circa 4 settimane (Bevan & Woolley, 2008). Tale periodo è comunque molto legato alle condizioni atmosferiche. Esternamente è necessario applicarvi un rivestimento impermeabile, come un intonaco a base di calce.<sup>57</sup> I materiali di rivestimento utilizzati devono essere di natura traspirante per non ostacolare le proprietà igrometriche del calcecanapulo.

### Campi di impiego

Questa tecnica può essere impiegata in nuova costruzione o interventi di recupero per tamponamenti di strutture a telaio in legno (vedi pacchetti costruttivi A2b).

Foto da Progetto INATER, [www.inater.net](http://www.inater.net):



Fig. 3.103 Casseri



Fig. 3.104 Distanziatori tubolari



Fig. 3.105 Getto manuale



Fig. 3.106 Compattazione



Fig. 3.107 Rimozione dei casseri



Fig. 3.108 muratura in calcecanapulo

<sup>56</sup> *Equilibrium, manuale tecnico, [www.equilibrium-bioedilizia.com](http://www.equilibrium-bioedilizia.com). Bevan & Woolley indicano 24 ore, segnalando che un tempo anche molto inferiore sarebbe sufficiente*

<sup>57</sup> *Construire en Chanvre (2007), Les Règles Professionnelles d'Exécution d'Ouvrage en Béton de Chanvre, SEBTP*

### 3.3.1.1.8 CONTROPARETE A GETTO



Fig. 3.109 Controparete interna, S.Sabbadini, (2012), Presentazione cantiere scuola Casatenovo

#### Miscela

MATERIALI	DOSI (kg)
Canapulo Chanvribat 10 < L < 20 mm	1
Calce premiscelata Tradical PF 70	2,2

Dosaggio in peso, tratto da Construire en Chanvre (2007)

MATERIALI	DOSI (kg)
Canapulo Canabrium	1
Calce Natural Lime Binder	2,2

Dosaggio in peso, Equilibrium, EquilibrioNaturaleCostruito

#### Descrizione

Per interventi di riqualificazione energetica degli edifici è possibile realizzare contropareti isolanti in getto in calcecanapulo sia interne che esterne. Quando è richiesto un intervento sull'intero fabbricato, laddove possibile, è più vantaggioso intervenire con un cappotto esterno, in maniera da creare un isolamento continuo intorno all'edificio, eliminando il problema dei ponti termici in corrispondenza delle pareti. Nelle situazioni in cui questo non è possibile, ovvero quando l'intervento riguarda una singola unità abitativa, oppure quando la facciata esterna deve rimanere a vista, allora è possibile realizzare contropareti interne.

Il calcecanapulo, dato il suo carattere di regolatore igrotermico, può essere applicato direttamente sui muri anche in presenza di umidità. La controparete viene realizzata tramite riempimento di un cassero fissato alla distanza dal muro pari allo spessore desiderato, 15-20 cm. Internamente essa può essere lasciata a vista oppure può essere rivestita con un intonaco in calcecanapulo o un intonaco a base di calce; esternamente lo strato di finitura è invece indispensabile per la protezione dagli agenti atmosferici.

Per la preparazione della miscela è consigliabile utilizzare un miscelatore ad asse planetario più indicato della betoniera per il mescolamento di materiali eterogenei come il calcecanapulo. Alternativamente è anche possibile utilizzare la betoniera classica.

Sono possibili entrambe le procedure di miscelazione 1 e 2 (vedi paragrafo 3.2.4.3).

Prima dell'applicazione è necessario apporre le necessarie protezioni e dopo aver verificato che la superficie del muro è pulita esso va bagnato con del latte di calce per agevolare la presa del getto.

Per l'applicazione della controparete a getto è necessario utilizzare un sistema di ancoraggio che ancori la controparete a quella esistente evitando qualsiasi rischio di distacco. Questo può consistere in una

struttura di montanti e listelli in legno<sup>58</sup> o in un sistema formato da tasselli collegati con del fil di ferro.<sup>59</sup> Nell'Allegato 1.1, viene riportata la sperimentazione da noi effettuata per un nuovo sistema di ancoraggio con degli steli di bambù. Una volta fissato il sistema di ancoraggio possono essere fissati i casseri alla distanza desiderata per la controparete, solitamente 15-20 cm.<sup>60</sup>

Il getto viene effettuato inserendo a mano l'impasto nel vano tra il cassero e la parete e compattandolo man mano. E' importante non compattarlo eccessivamente, perché altrimenti le sue capacità isolanti diminuirebbero.<sup>61</sup>

L'ultima fascia di 5-10 cm vicina al soffitto deve essere effettuata a mano. Man mano che viene riempito il cassero questo può essere subito rimosso e riposizionato più in alto per continuare l'operazione. Appena rimosso il cassero se vi sono formati dei buchi e necessario che questi vengano subito chiusi con dell'impasto applicato a cazzuola.

Una volta terminato il getto è necessario attendere la sua asciugatura per applicarvi una finitura. Esternamente è necessario applicarvi un rivestimento impermeabile quale l'intonaco a base di calce.<sup>62</sup>

Il getto deve essere fatto asciugare naturalmente, senza l'uso di ventilatori, in un ambiente sufficientemente ventilato, per circa 3-4 settimane (Bevan & Woolley, 2008). Tale periodo è comunque molto legato alle condizioni atmosferiche.

E' da ricordare che in esterni va tenuta una distanza di almeno 15 cm dal terreno.

### **Campi d'impiego**

Questa tecnica può essere impiegata per l'isolamento di pareti perimetrali, sia in pietra (vedi pacchetti costruttivi A'2b) che in laterizio (vedi pacchetti costruttivi A'2b).

---

*58 Più indicata per la posa a spruzzo, perché la struttura in legno complica la posa a getto*

*59 Sistema utilizzato da Equilibrium*

*60 Equilibrium, manuale tecnico, [www.equilibrium-bioedilizia.com](http://www.equilibrium-bioedilizia.com)*

*61 Equilibrium, manuale tecnico, [www.equilibrium-bioedilizia.com](http://www.equilibrium-bioedilizia.com)*

*62 Equilibrium, manuale tecnico, [www.equilibrium-bioedilizia.com](http://www.equilibrium-bioedilizia.com)*





Fig. 3.110 Sistema di ancoraggio con tasselli, Seminario a Granara, 2012



Fig. 3.111 Sistema di ancoraggio in legno, Dispensa corso Equilibrium, (2011), Costruire e ristrutturare con calce e canapa



Fig. 3.112 Getto manuale della controparete, Ponzoni L., Sorek Y., (2012), Casatenovo



Fig. 3.113 Getto manuale della controparete, Seminario a Granara, 2012



Fig. 3.114 Controparete con sistema di ancoraggio in legno, Dispensa corso Equilibrium, (2011), Costruire e ristrutturare con calce e canapa



Fig. 3.115 Controparete sistema di ancoraggio a tasselli, S.Sabbadini, (2012), Presentazione cantiere scuola Casatenovo

### 3.3.1.1.9 INTONACO DI CORPO AD APPLICAZIONE MANUALE



Fig. 3.116 Applicazione manuale di intonaco isolante, [www.piedducol.canalblog.com](http://www.piedducol.canalblog.com)

#### Miscela

MATERIALI	DOSI (kg)
Canapulo Chanvribat 10 < L < 20 mm	1
Calce premiscelata Tradical PF80	8

Dosaggio in peso, tratto da *Construire en Chanvre* (2007)

MATERIALI	DOSI (kg)
Canapulo Canabrium	1
Calce Natural Lime Binder	3/4

Dosaggio in peso, Equilibrium, *EquilibrioNaturaleCostruito*

#### Descrizione

L'intonaco isolante in calcecanapulo, può essere applicato internamente o esternamente alla parete ed ha la funzione di regolatore termico ed acustico. Il suo impiego serve ad eliminare la sensazione di "parete fredda" tipica dei muri perimetrali di molte abitazioni. Il suo carattere igrometrico gli conferisce il pregio di regolare l'umidità dell'ambiente interno sfavorendo il fenomeno di condensa superficiale delle pareti. L'intonaco isolante in calcecanapulo ha perciò contemporaneamente capacità isolante e traspirante. Queste caratteristiche lo rendono particolarmente adatto per interventi di recupero di edifici storici i cui elementi costruttivi esistenti sono costituiti da materiali altrettanto traspiranti e naturali, quali il legno, la terra e la pietra. Per ottenere queste caratteristiche è però necessario applicare questo intonaco in spessori fino a 6-8 cm.<sup>63</sup>

Esso viene applicato a strati: prima viene applicato un strato ricco di calce, rinzaffo, utile a far aderire l'intonaco alla parete, poi viene steso il corpo d'intonaco, o arriccio, in più strati e infine viene applicato uno strato di finitura. Per quest'ultimo strato internamente è possibile utilizzare un canapulo a granulometria inferiore per ottenere un effetto più fine (vedi paragrafo 3.3.1.1.11). Esternamente invece la finitura dev'essere effettuata con un intonaco a base di calce, in modo da proteggere il calcecanapulo dagli agenti atmosferici.

Per la preparazione di mescole per l'intonaco di corpo in calcecanapulo è consigliabile utilizzare un miscelatore a vite senza fine.<sup>64</sup>

Per la preparazione della miscela necessaria a questo impiego sono possibili entrambe le procedure di miscelazione 1 e 2 (vedi paragrafo 3.2.4.3).

Dopo aver protetto serramenti ed elementi a vista, prima dell'applicazione dell'intonaco la superficie da

<sup>63</sup> *Construire en Chanvre* (2007), *Les Règles Professionnelles d'Exécution d'Ouvrage en Béton de Chanvre*, SEBTP

<sup>64</sup> Da arch. S.Sabbadini

intonacare va scrostata dai vecchi rivestimenti e va umidificata per evitare che questa assorba l'umidità presente nell'intonaco facendolo asciugare troppo rapidamente.<sup>65</sup>

In caso di muratura esterna è necessario predisporre la parete per la sua intonacatura da un minimo 15 cm di distanza dal terreno, predisponendo quindi un rialzo nel caso fosse necessario.

Per far aggrappare meglio l'intonaco e per omogeneizzare la superficie viene solitamente realizzato un primo strato di rinzaffo più carico di calce che viene applicato con cazzuola (vedi figura 3.119).

La superficie del rinzaffo dev'essere sufficientemente rugosa per permettere l'adesione del corpo d'intonaco. E' buona pratica lasciar asciugare per circa 48 ore il rinzaffo prima di applicarvi il corpo d'intonaco.<sup>66</sup>

Il corpo d'intonaco viene poi applicato con frattazzo liscio o spatola americana per strati successivi di 2 o 4 cm fresco su fresco.

Infine viene applicato uno strato di finitura. Su muri esterni è indispensabile che questo sia un intonaco a base di calce, capace di proteggere il calcecanapulo dagli agenti atmosferici e coerente con le sue caratteristiche di traspirabilità. Su muri interni è possibile lasciare l'intonaco di corpo a vista, se si vuole ottenere un effetto più grezzo, oppure è possibile applicare una finitura in calcecanapulo con un canapulo fine, una finitura in terra o una a base di calce. In ogni caso va evitato qualsiasi tipo di finitura sintetica o che ostacoli la traspirabilità dell'intonaco.

L'intonaco realizzato con una calce premiscelata (tipo Equilibrium<sup>67</sup> o Tradical PFE) ha tempi di asciugatura di circa una o due settimane, tempistica molto variabile a seconda delle condizioni climatiche (Bevan & Woolley, 2008). L'intonaco realizzato unicamente con calce idrata ha invece tempi di asciugatura molto più dilatati.

In entrambi i casi è consigliato lasciar asciugare naturalmente senza l'uso di ventilatori e fare riferimento ai tempi di asciugatura indicati dal produttore del legante.

### **Campi di impiego**

La tecnica per l'intonaco di corpo in calcecanapulo può essere impiegata internamente o esternamente a nuove murature, anche in calcecanapulo (murature a getto, in blocchi, a pareti realizzate a spruzzo) oppure su murature esistenti realizzate in materiali che non ostacolino le caratteristiche del calcecanapulo, ovvero sufficientemente traspiranti, come la pietra (vedi pacchetti costruttivi A'2b) e il laterizio (vedi pacchetti costruttivi A'2b e A'2c).

---

*65 Progetto Inater, schede delle tecniche, 01-4-1-Scheda-cantiere-intonaco-iso-calcecanapulo, [www.inater.net](http://www.inater.net)*

*66 Construire en Chanvre (2007), Les Règles Professionnelles d'Exécution d'Ouvrage en Béton de Chanvre, SEBTP*

*67 Natural lime binder, Equilibrium, a base di calce idrata, calce idraulica, pozzolana, sabbie vulcaniche e additivi naturali*

Foto da ANAB, (2011), Presentazione Cantiere Scuola: isolanti naturali, S.Matteo della Decima



Fig. 3.117 Protezione dell'assito in legno



Fig. 3.118 Bagnatura della parete



Fig. 3.119 Applicazione del rinforzo



Fig. 3.120 Posa dell'arriccio



Fig. 3.121 I tre strati dell'intonaco di corpo in calcecanapulo

### 3.3.1.1.10 INTONACO DI CORPO DI C. LATOUCHE



Fig. 3.122 Getto manuale di intonaco isolante, Progetto INATER, [www.inater.net](http://www.inater.net)

#### Miscela

MATERIALI	DOSI (kg)
Canapulo e fibra	1
Calce idrata CL 90 Arkessens	2,5

#### Descrizione

Questo metodo di preparazione e applicazione dell'intonaco isolante è quello utilizzato e messo a punto dall'artigiano francese C. Latouche. Una particolarità di questo metodo è che prevede unicamente l'utilizzo di calce idrata (CL 90 Arkessens), che secondo Latouche ha una migliore presa. Si tratta inoltre di una calce con alto profilo ecologico perché cotta al gas naturale. Anche la canapa utilizzata ha una particolarità: essa è molto fibrosa, perché, secondo Latouche, la resistenza meccanica della fibra permette un costipamento inferiore e quindi un maggiore potere isolante della miscela. Altra caratteristica del metodo è la tecnica di posa: essa prevede l'utilizzo di un sistema di cassetteria, che secondo C. Latouche, oltre a velocizzare di molto l'applicazione ha dei vantaggi anche sulle prestazioni dell'intonaco. L'intonaco cassetterato ha una densità inferiore di quello applicato a mano, perché non viene pressato come inevitabilmente succede se viene steso con il frattazzo.<sup>68</sup>

La miscela di Latouche viene effettuata in un miscelatore ad asse planetario o in una betoniera.

L'impasto viene preparato il giorno prima (l'artigiano specifica che può essere realizzato fino a 5 giorni prima). Lasciar riposare l'impasto, realizzato con calce idrata, almeno una notte gli permette di diventare più plastico e pastoso. Per questo la quantità di acqua utilizzata è più alta di quella utilizzata per altri impasti. Appena realizzata la miscela risulta abbastanza liquida. Poi durante la notte la canapa è capace di assorbire grandi quantità di acqua.

La procedura di miscelazione seguita è la procedura 1 (vedi paragrafo 3.3.1.1.11).

Per la tecnica di Latouche è utile che vi siano 4 operatori: una persona si occupa delle mescole, due dell'applicazione dell'intonaco e una del montaggio e smontaggio dei casseri.

Dopo aver predisposto le dovute protezioni dei serramenti, dei punti elettrici e del pavimento, va verificata la pulizia della superficie del muro e vanno fissati alla parete a interasse di 50 cm dei listelli di 2

<sup>68</sup> Progetto Inater, *Tecniche-Intonaci isolanti in calcecanapulo-Intervista C.Latouche*, [www.inater.net](http://www.inater.net)

cm di spessore. Successivamente vengono preparati i casseri: Latouche usa dei pannelli di compensato di 0,5 cm x 20 cm. Agli estremi dei casseri vengono fissati dei listelli più corti che servono a fissare i casseri contro i listelli già fissati alla parete.<sup>69</sup>

L'applicazione avviene applicando a mano delle piccole quantità di impasto nei casseri, compattando man mano con un listello di legno. Via via che avviene il riempimento i casseri vengono delicatamente rimossi tramite un movimento dal basso verso l'alto, in maniera da poter proseguire con il loro fissaggio nelle parti ancora da intonacare. L'ultima fascia in alto della parete viene completata a mano sfruttando l'impasto caduto a terra durante la posa. Anche le eventuali imperfezioni e le strisce formate dai casseri vengono perfezionate a mano.

Come tutte le applicazioni di calcecanapulo su superfici esterne è importante che nella posa si tenga una distanza di circa 20 cm dal terreno e che venga applicato un intonaco impermeabile ma traspirante (tipo intonaco di calce e sabbia).<sup>70</sup>

Questa tecnica, dato l'effetto grezzo che conferisce alla superficie non è pensata per avere la duplice funzione di isolamento e finitura ma richiede, anche internamente, l'applicazione di un intonaco di finitura.<sup>71</sup>

Per quanto riguarda il tempo di asciugatura, l'impiego di sola calce aerea richiede periodi più lunghi. Va segnalato che questa tecnica è pensata per la realizzazione di intonaci su grandi superfici, libere da ostacoli, non risulta invece produttiva se utilizzata su superfici limitate, molto irregolari o con numerosi condotti.

---

<sup>69</sup> Progetto Inater, *Tecnica-Intonaci isolanti in calcecanapulo-Intervista C.Latouche*, [www.inater.net](http://www.inater.net)

<sup>70</sup> *Construire en Chanvre (2007), Les Règles Professionnelles d'Exécution d'Ouvrage en Béton de Chanvre*, SEBTP

<sup>71</sup> Progetto Inater, *Tecnica-Intonaci isolanti in calcecanapulo-Intervista C.Latouche*, [www.inater.net](http://www.inater.net)

Foto da Progetto INATER, [www.inater.net](http://www.inater.net):



Fig. 3.123 Canapulo molto fibroso



Fig. 3.124 Posizionamento di listelli e casseri



Fig. 3.125 Applicazione del getto nei casseri



Fig. 3.126 Applicazione dell'impasto nei casseri



Fig. 3.127 Intonaco isolante una volta scasserato



Fig. 3.128 Completamento a mano della fascia superiore della parete

### 3.3.1.1.11 INTONACO DI CORPO DI R. JUNALIK



Fig. 3.129 Applicazione manuale dell'intonaco di corpo, ANAB, (2011), Presentazione Cantiere Scuola: isolanti naturali, S.Matteo della Decima

#### Miscela

MATERIALI	DOSI (kg)
Canapulo <sup>16</sup>	1
Calce idrata	4,7

#### Descrizione

Questo metodo di preparazione e applicazione dell'intonaco di corpo in calcecanapulo è quello utilizzato dall'artigiano francese R. Junalik.<sup>72</sup> La sua buona formazione nell'uso del calcecanapulo gli ha permesso di adattare la miscela in base ai risultati ottenuti durante le sue esperienze pregresse. Egli preferisce utilizzare in prevalenza calce aerea, ma a seconda delle condizioni climatiche egli aggiunge anche una piccola quantità di calce idraulica naturale oppure, soprattutto per motivazioni legate ai tempi di asciugatura, gli capita di utilizzare delle calci premiscelate. In questo modo la colorazione dell'intonaco diventa più grigia, ma l'asciugatura della calce avviene più velocemente.

R.Junalik realizza l'impasto in una betoniera, pur osservando che sarebbe più idoneo l'impiego di un miscelatore ad asse planetario.<sup>73</sup> Egli, come l'artigiano C.Latouche, prepara la miscela già la sera prima allo scopo di far assorbire molta acqua al canapulo ed ottenere una miscela cremosa come "panna montata". Per un effetto ancora più cremoso, all'occorrenza egli introduce nuovamente l'impasto in betoniera per qualche minuto il giorno stesso dell'applicazione.

La procedura di miscelazione seguita è la procedura 1 (vedi paragrafo 3.3.1.1.11).

Dopo aver protetto gli elementi a vista e aver ripulito la parete da eventuali residui di vecchi rivestimenti, se l'intonaco non aderisce bene alla parete è necessario applicare un primo strato di rinzaffo, con più calce, di 0,5 cm circa; questo viene applicato con cazzuola.

Successivamente se si vogliono ottenere dei muri completamente a piombo, vengono fissati ad interassi di circa 50-60 cm dei listelli di legno di 2 cm, utili nella fase di livellamento con la staggia e rimossi appena dopo. In questo caso i vuoti creati dai listelli vengono riempiti con lo stesso impasto

<sup>72</sup> Progetto Inater, *Tecniche-Intonaci finitura in calcecanapulo-Intervista R.Jnalik*, [www.inater.net](http://www.inater.net)

<sup>73</sup> L'impiego della betoniera è legato ad una motivazione economica, egli sottolinea che il costo di un miscelatore ad asse planetario è molto maggiore di quello di una betoniera



dell'intonaco.

Dopo l'applicazione dello spriz di rinzafo, con una spatola americana o con un frattazzo liscio, il corpo d'intonaco viene applicato in due strati successivi di 2 cm ciascuno. Nelle ristrutturazioni di edilizia tradizionale R.Junalik posa l'intonaco in modo da smussare gli angoli sia per ragioni estetiche che per agevolare il passaggio della luce ed evitare i forti contrasti luminosi di chiaro-scuro.

La complanarità dell'intonaco può essere controllata ad occhio, come preferisce R.Junalik, oppure ottenuta livellando la superficie con una staggia.

Come ultimo strato R.Junalik applica solitamente una finitura in calcecanapulo con un impasto realizzato con un canapulo più fine. Ad essa è possibile conferire diverse colorazioni e lavorazioni (vedi scheda 3.3.1.1.10).

Terminata l'applicazione l'intonaco deve essere fatto asciugare naturalmente in ambiente ben ventilato: R.Junalik si assicura che durante il periodo di asciugatura anche nei giorni di pioggia vengano lasciati aperti i serramenti, altrimenti il rischio di formazione di muffe è alto.

R.Junalik indica una tempistica di almeno due settimane per raggiungere un livello di asciugatura tale da poter applicare l'intonaco di finitura.

Internamente, questo intonaco può essere lasciato a vista.

Foto da ANAB, (2011), Presentazione Cantiere Scuola: isolanti naturali, S.Matteo della Decima:



Fig. 3.130 Fissaggio dei listelli



Fig. 3.131 Bagnatura a completo imbevimento della parete



Fig. 3.132 Posa del copro d'intonaco



Fig. 3.133 Livellamento con la staggia

### 3.3.1.1.12 INTONACO DI FINITURA DI C. LATUOCHE



Fig. 3.134 Applicazione di intonaco di finitura, [www.inater.it](http://www.inater.it)

#### Miscela

MATERIALI	DOSI (kg)
Canapulo e fibra	1
Calce idrata CL 90 Arkessens	4

#### Descrizione

La realizzazione dell'intonaco di finitura in calcecanapulo richiede l'utilizzo di canapulo molto fine, la cui grana conferisce all'intonaco un aspetto molto gradevole. Esso viene infatti impiegato per le sue qualità decorative oltre che per la sua capacità di rendere più "calda" e salubre la superficie interna del muro. Una volta steso, l'intonaco di finitura in calcecanapulo può essere lavorato in diversi modi: può essere lisciato lavorandolo con un frattazzo liscio per far emergere i granuli di canapulo e renderli lucidi, oppure può essere lavorato con un frattazzo a spugna per un effetto più ruvido e movimentato. Per ottenere differenti colorazioni delle pareti è possibile aggiungere nell'impasto dei pigmenti naturali. C.Latouche utilizza per il suo impasto unicamente calce idrata e realizza spessori tra i 0,5 e 2 cm.

La realizzazione di questo impasto è molto simile a quella dell'intonaco di corpo, ma in questo caso il canapulo deve essere necessariamente di grana più fine perché lo spessore dello strato è inferiore.

La procedura di miscelazione seguita è quindi la procedura 1 (vedi paragrafo 3.3.1.1.11), in cui l'eventuale aggiunta di pigmenti va effettuata insieme alla calce.<sup>74</sup>

I pigmenti rendono la consistenza dell'impasto più spessa, perciò, in base alla quantità di pigmenti che viene aggiunta, l'impasto diventa di lavorazione più difficile.

La reazione della calce aerea con l'argilla la rende idraulica, aumentandone la velocità di presa. Per questo motivo può essere utile rimettere acqua nell'impasto la mattina dell'applicazione.

Per questa tecnica C.Latouche sostiene sia utile che vi siano almeno due applicatori: uno per stendere l'intonaco e uno per conferirgli l'effetto finale desiderato. In questa tecnica, soprattutto nel caso di intonaci colorati con pigmenti, è importante che l'applicazione venga fatta con cura e con una certa velocità.

"Generalmente, la realizzazione di un intonaco di finitura non è idoneo per l'apprendistato di un

<sup>74</sup> C.Latouche aggiunge i pigmenti a metà del quantitativo di calce.

tirocinante rispetto alla realizzazione di un intonaco isolante a causa del ritmo imposto dalla presa della miscela. Qualsiasi ritardo nell'applicazione ma soprattutto nel trattamento delle finiture costituisce un rischio di fallimento reale dal punto di vista estetico, difficile da recuperare" (C.Latouche).<sup>75</sup>

E' utile per la posa dell'intonaco di finitura impiegare un grande fratazzo per avere una buona quantità di impasto a portata di mano. L'applicazione avviene a spatola americana compattando il più possibile in uno strato di 1 cm di spessore, per strisce successive larghe tra i 50 cm e 1 m, per circa 2 m di altezza. Ciò diminuisce il rischio che i ritocchi siano visibili.

Per ottenere una superficie molto liscia è necessario passare il fratazzo con insistenza, in caso contrario, fratazzando meno la superficie, si otterrà un aspetto più grezzo e granuloso.

### Campi di impiego

L'intonaco di finitura in calcecanapulo può essere posato su diversi tipi di arricci a base di calce. Sull'intonaco di calcecanapulo può essere applicato fresco su fresco o ad arriccio asciutto bagnandolo abbondantemente per poter essere lavorato più a lungo. Se la finitura è realizzata con grassello anziché calce idrata e il fondo viene ben bagnato è possibile effettuare la lavorazione anche i giorni seguenti. L'intonaco di finitura in calcecanapulo non può essere utilizzato come finitura esterna perché non può essere esposto agli agenti atmosferici. Esso viene impiegato per interni, per le sue proprietà decorative. Può essere applicato come rasatura su un muro in calcecanapulo, oppure come finitura su muri in pietra (vedi pacchetti costruttivi A'2b) o in laterizio (vedi pacchetti costruttivi A'2b e A'2c).

Foto da Progetto INATER, [www.inater.net](http://www.inater.net):



Fig. 3.135 L'impasto realizzato da C.Latouche è cremoso e bianco



Fig. 3.136 Applicazione dell'intonaco di finitura



Fig. 3.137 Applicazione dell'intonaco di finitura colorato con diversi pigmenti naturali



Fig. 3.138 Effetto finale

<sup>75</sup> C.Latouche da Progetto Inater, *Tecniche-Intonaci isolanti in calcecanapulo-Intervista C.Latouche*, [www.inater.net](http://www.inater.net)

### 3.3.1.1.13 INTONACO DI FINITURA DI R.JUNALIK



Fig. 3.139 Intonaco di finitura, Zaccanti O., (2011)  
Presentazione Isolanti Naturali, ANAB

#### Miscela

MATERIALI	DOSI (kg)
Canapulo fine l = 6 mm	1
Calce idrata di Saint-Astier	4

#### Descrizione

L'artigiano R.Junalik realizza un intonaco di finitura da 0,8 ad 1 cm di spessore, con canapulo fine (0,8 cm) e unicamente calce idrata, di migliore lavorazione e colorazione di quella idraulica. Egli realizza intonaci colorati con pigmenti aggiunti in pasta oppure con colorazione a fresco. La lavorazione finale può essere lamata oppure, effettuandola con un frattazzo a spugna, più ruvida.

R.Junalik realizza l'impasto in una betoniera.<sup>76</sup> "Utilizzo una betoniera a motore a scoppio che permette di regolare in modo molto preciso la velocità. In emulsione, la velocità di rotazione deve essere debole, altrimenti la forza centrifuga fa aderire alle pareti della betoniera" (R.Junalik).

Come per l'intonaco di corpo, anche per quello di finitura egli prepara la miscela già la sera prima allo scopo di far assorbire molta acqua al canapulo ed ottenere una miscela cremosa. La mattina dell'applicazione egli introduce nuovamente l'impasto in betoniera per qualche minuto.<sup>77</sup>

Per fluidificare l'impasto egli ha un metodo particolare: "per non mettere troppa acqua, metto sapone liquido o del prodotto per lavare i piatti, dato che è un agente fluidificante. Lo faccio in estate, perché le pareti assorbono molto ed è preferibile mettere un agente fluidificante dato che una malta troppo bagnata è meno resistente" (R.Junalik).<sup>78</sup>

La procedura di miscelazione da lui seguita è la procedura 1 (vedi paragrafo 3.3.1.1.11). L'eventuale aggiunta di pigmenti può avvenire direttamente in betoniera oppure per realizzare decorazioni con colorazioni diverse è possibile aggiungere i pigmenti dopo nell'impasto già miscelato oppure può essere dipinto l'intonaco a fresco (vedi figure 3.143-3.144).

In caso di temperature secche, prima di applicare l'intonaco, la parete va abbondantemente vaporizzata.

<sup>76</sup> Più specifico per la miscelazione di intonaci di finitura sarebbe il miscelatore a vite senza fine.

<sup>77</sup> Progetto Inater, *Tecniche-Intonaci finitura in calcecanapulo-Intervista R.Jnalik*, [www.inater.net](http://www.inater.net)

<sup>78</sup> Progetto Inater, *Tecniche-Intonaci finitura in calcecanapulo-Intervista R.Jnalik*, [www.inater.net](http://www.inater.net)

L'impasto dev'essere applicato in uno strato uniforme di circa 1 cm e per questa operazione Junalik predilige l'uso della cazzuola.<sup>79</sup> Con l'intonaco di finitura è necessario rifinire accuratamente i contorni e secondo Junalik "Le prese elettriche sono un lavoro di finitura importante. Occorre spingere per fare risalire la calce, e accarezzare per lispiarla. Con superfici irregolari questo lavoro comporta una grande perdita di tempo". Per trattare gli angoli, nel caso in cui vengano arrotondati, viene impiegato un piccolo frattazzo.

Infine la superficie può essere lamata o trattata con un frattazzo a spugna per un effetto più ruvido.

A questo intonaco possono essere aggiunti dei pigmenti naturali sia in betoniera che nell'impasto già pronto, per ottenere più colorazioni. Un altro metodo usato da Junalik è quello della pittura a fresco. Così come per l'intonaco di copro, R.Junalik si assicura che durante il periodo di asciugatura anche nei giorni di pioggia vengano lasciati aperti i serramenti, altrimenti il rischio di formazione di muffe è alto.

Foto da ANAB, (2011), Presentazione Cantiere Scuola: isolanti naturali, S.Matteo della Decima:



Fig. 3.140 Posa a due mani con il frattazzo americano



Fig. 3.141 Lavorazione lamata o con frattazzo a spugna



Fig. 3.142 Lamatura finale



Fig. 3.143 Colorazione in pasta



Fig. 3.144 Colorazione a fresco

### 3.3.1.2 APPLICAZIONE A SPRUZZO

Le tecniche costruttive in calcecanapulo possono essere messe in opera, oltre che con applicazione manuale, applicando il calcecanapulo a spruzzo tramite un macchinario specifico (vedi paragrafo 3.2.4.2.1).

Questo tipo di applicazione, data la necessità dell'impiego di un macchinario apposito per la sua realizzazione, di alto costo e di non facile reperimento, viene utilizzata soprattutto per interventi di grandi dimensioni. I vantaggi di questo tipo di posa sono però molteplici. L'agevolezza con la quale il materiale può raggiungere interstizi e superfici anche molto irregolari è decisamente maggiore rispetto a quella della posa manuale con la quale spesso il getto in casseri viene ostacolato da tubazioni, oppure da forme irregolari della superficie esistente. L'applicazione a spruzzo risulta anche più veloce nel caso di grandi superfici, perché esclude completamente il tempo di preparazione della miscela e riduce il tempo di applicazione della cassetta.<sup>80</sup>

Questa tecnica di posa comporta inoltre tempi di asciugatura inferiori rispetto a quelli dell'applicazione manuale perché tramite lo spruzzo la miscela raggiunge la superficie a strati successivi lasciando già evaporare parte dell'acqua in essa contenuta.<sup>81</sup>

Con questa tecnica possono essere realizzati gli stessi elementi costruttivi che con la posa manuale, ovvero contropareti e intonaci isolanti, muri, massetti e riempimenti di solai e coperture. Nel caso delle murature, a differenza della posa manuale viene impiegato un solo cassero, esterno o interno che svolge la funzione di supporto del calcecanapulo spruzzato. Questo cassero può essere un cassero a perdere, che viene quindi mantenuto oppure può essere rimosso dopo la posa.

I dosaggi e i materiali utilizzati per questa applicazione sono i medesimi di quelli impiegati per l'applicazione manuale.<sup>82</sup> Anche in questo caso però le proporzioni vengono spesso adattate dagli applicatori esperti in base al risultato richiesto e ai tipi di materiali impiegati.

Prima di iniziare con la posa, l'impasto viene spruzzato su una superficie di prova dove viene testata la presa dell'impasto. In base alla consistenza ottenuta vengono regolate le pressioni degli ugelli. Un dosaggio eccessivo di acqua potrebbe rendere l'impasto liquido al punto di farlo colare sulla superficie, mentre con un impasto troppo secco vi è il rischio che il calcecanapulo si sfaldi e crolli. La prova di spruzzo è perciò di importanza notevole e andrebbe effettuata da un esperto di questa tecnica.

Questa applicazione avviene ripassando più volte gli ugelli spruzzatori a una distanza di non più di 40-50 cm dalla superficie di applicazione tenendo gli ugelli il più possibile perpendicolari alla superficie.<sup>83</sup>

Una volta effettuato lo spruzzo la superficie deve essere livellata e regolarizzata con una staggia e poi possono essere applicate le finiture secondo le stesse tecniche con le quali vengono applicate al calcecanapulo messo in opera manualmente.

---

<sup>80</sup> La macchina a spruzzo utilizzata da Batiethic ha un rendimento di 4-8 m<sup>3</sup>/h e permette quindi la realizzazione di 60-100 m<sup>2</sup> di muro in calcecanapulo al giorno.

<sup>81</sup> Bevan & Woolley indicano un tempo di asciugatura di circa 7-10 giorni per murature a spruzzo. Batiethic indica invece una tempistica di 2 settimane. Questi periodi sono molto variabili a seconda delle condizioni atmosferiche, ma sono comunque inferiori rispetto a quelli indicati per murature ad applicazione manuale.

<sup>82</sup> I dosaggi indicati si riferiscono alle Règles Professionnelles d'Exécution d'Ouvrage en Béton de Chanvre (2007), a cui fa riferimento Batiethic ([www.batiethic.fr](http://www.batiethic.fr)), impresa edile pioniera del calcecanapulo a spruzzo in Francia. Dalla scheda di cantiere Inater di Jerome Minet, esperto di calcecanapulo a spruzzo, si evince che anche nella tecnica a spruzzo tali proporzioni possono essere adattate dagli applicatori esperti. Jerome Minet indica infatti una proporzione di 1:3 per la realizzazione di muri in calcecanapulo a spruzzo. ([www.inater.fr](http://www.inater.fr))

<sup>83</sup> Batiethic, [www.batiethic.fr](http://www.batiethic.fr)

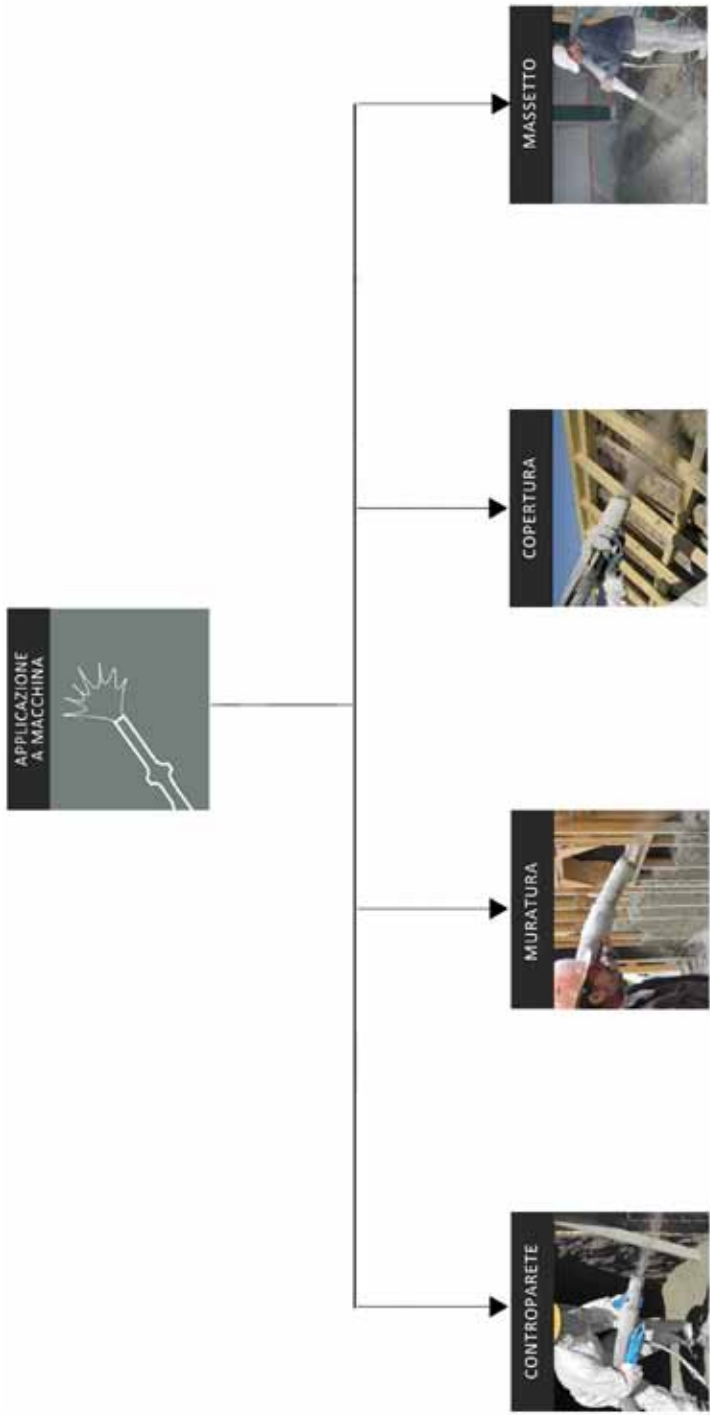


Fig. 3.145 Schema applicazione a spruzzo

### 3.3.1.2.1 CONTROPARETE A SPRUZZO



Fig. 3.146 Controparete a spruzzo da [www.db-chanvre.com](http://www.db-chanvre.com)

#### Miscela

MATERIALI	DOSI (kg)
Canapulo Chanvribat 10 < L < 20 mm	1
Calce premiscelata Tradical PF 70	2,2

Dosaggio in peso, tratto da Construire en Chanvre (2007)

MATERIALI	DOSI (kg)
Canapulo Canabrium	1
Calce Natural Lime Binder	2,2

Dosaggio in peso, Equilibrium, EquilibrioNaturaleCostruito

La tecnica a spruzzo in calcecanapulo si rivela particolarmente adatta per interventi di isolamento termico ed acustico su murature di edifici esistenti, dove le superfici di supporto sono spesso irregolari. In questi casi l'applicazione a spruzzo permette una facile adesione del calcecanapulo alla superficie del muro esistente.<sup>84</sup> Per interventi su edifici storici questa tecnica, oltre ad assicurare una buona aderenza alla superficie esistente (in pietra, in terra o in laterizio) non snatura ma incrementa le proprietà igrometriche delle pareti esistenti.

L'applicazione avviene passando con la macchina a spruzzo, alla corretta distanza, lungo tutta la superficie del muro e livellando poi la superficie con una staggia. Successivamente se si tratta di una superficie interna è possibile applicare una rasatura in calcecanapulo, in calce o terra, oppure se si tratta di un intonaco all'esterno un intonaco di finitura a base di calce.

<sup>84</sup> Secondo Batiethic, con l'applicazione a spruzzo può essere utilizzata la miscela 1:2,2, normalmente impiegata per muratura, anche per strati isolanti di piccoli spessori, quali quelli degli intonaci isolanti ad applicazione manuale.





Fig. 3.147-3.148 Controparete interna in calcecanapulo (10 cm) realizzata a spruzzosu muro in pietra, [www.batiethic.fr](http://www.batiethic.fr)



Fig. 3.149-3.150 Controparete esterna a spruzzo da [www.eviapartner.com](http://www.eviapartner.com)



Fig. 3.151-3.152 Controparete interna (10 cm) a spruzzo con rasatura in calcecanapulo su muro in pietra da [www.batiethic.fr](http://www.batiethic.fr)



Fig. 3.153-3.154 Applicazione a spruzzo, Tradical

### 3.3.1.2.2 MURATURA A SPRUZZO



fig. 3.155 Muratura a spruzzo, INATER [www.inater.net](http://www.inater.net)

#### Miscela

MATERIALI	DOSI (kg)
Canapulo Chanvribat 10 < L < 20 mm	1
Calce premiscelata Tradical PF 70	2,2

Dosaggio in peso, tratto da Construire en Chanvre (2007)

MATERIALI	DOSI (kg)
Canapulo Canabrium	1
Calce Natural Lime Binder	2,2

Dosaggio in peso, Equilibrium, EquilibrioNaturaleCostruito

La tecnica a spruzzo può essere anche impiegata per la realizzazione di murature di 30-40 cm di spessore con telaio in legno. Questa tecnica prevede l'impiego di casseri che vengono fissati da un lato della struttura; su di essi viene spruzzato il calcecanapulo e dopo poche ore questi possono essere rimossi. Nel caso in cui da uno dei suoi lati è prevista la finitura con pannelli rigidi è possibile impiegare questi pannelli come casseri a perdere e utilizzarli come supporto per lo spruzzo del materiale. Un'altra possibilità è quella di utilizzare come casseri a perdere delle stuoie di arelle, che hanno contemporaneamente funzione di aggrappo per l'intonaco dal lato opposto al tamponamento in calcecanapulo.<sup>85</sup> Le opere eseguite con questa tecnica sono spesso nuove costruzioni in cui l'intero involucro è progettato per essere realizzato con questa tecnica (vedi figure Fig. 3.155-158) in maniera da poter essere costruita in un tempo relativamente breve. La tecnica a spruzzo è anche adatta ad interventi di recupero di edifici storici i cui tamponamenti originali vengono sostituiti in tutto il loro spessore di calcecanapulo. Ne sono un esempio le case a traliccio tipiche dell'Alsazia di cui ha realizzato diversi progetti di ristrutturazione Batiethic (vedi figura 3.162). Prima dell'applicazione è importante verificare la precisione dell'installazione dei casseri e le loro capacità meccaniche a ricevere il calcecanapulo a spruzzo. Successivamente, dopo aver effettuato una attenta prova di applicazione, il calcecanapulo può essere spruzzato tenendo gli ugelli il più orizzontali possibile a una distanza di 40-50 cm.<sup>86</sup> Nel caso in cui vengano impiegati casseri che vengono rimossi, per agevolarne il distacco dal calcecanapulo è opportuno interporvi una membrana di cellofan. Dopo alcune ore è possibile rimuovere i casseri e la pellicola. Successivamente è necessario regolarizzare la parete e renderla più ruvida per assicurare la presa della finitura. Quest'operazione può essere compiuta con una staggia o

<sup>85</sup> INTER, *Chantier Ecole 2011*, Marc Desset, Belgio

<sup>86</sup> Progetto Inater, *schede delle tecniche, 01-2-1-Scheda-cantiere-calcecanapulo-a-spruzzo*, [www.inater.net](http://www.inater.net)

con un frattazzo a spugna. Come tempistiche di asciugatura delle murature a spruzzo Batiethic indica un tempo approssimativo di 2 settimane prima dell'applicazione della finitura.



Fig. 3.156 Telaio in legno per nuova costruzione in calcecanapulo a spruzzo, [www.batiethic.fr](http://www.batiethic.fr)



Fig. 3.157 Montaggio del sistema di cassetteria per spruzzo, [www.batiethic.fr](http://www.batiethic.fr)



Fig. 3.158 Applicazione del calcecanapulo a spruzzo su cassero (30 cm), [www.batiethic.fr](http://www.batiethic.fr)



Fig. 3.159 Posa a spruzzo completata, 600 mq totali di calcecanapulo, [www.batiethic.fr](http://www.batiethic.fr)



Fig. 3.160 Rimozione del cellofan dietro al cassero, [www.batiethic.fr](http://www.batiethic.fr)



Fig. 3.161 Livellamento con una staggia Da [www.db-chanvre.com](http://www.db-chanvre.com)



Fig. 3.162 Livellamento e raschiamento con un frattazzo a spugna, [www.batiethic.fr](http://www.batiethic.fr)



Fig. 3.163 Ristrutturazione struttura a traliccio con calcecanapulo a spruzzo, [www.batiethic.fr](http://www.batiethic.fr)

### 3.3.1.2.3 RIEMPIMENTO DI SUPERFICIE INCLINATA A SPRUZZO



Fig. 3.164 Riempimento di superficie inclinata a spruzzo  
www.eviapartner.com

#### Miscela

MATERIALI	DOSI (kg)
Canapulo Chanvribat 20 < L < 30 mm	1
Calce premiscelata Tradical PF 70	1

Dosaggio in peso, tratto da Construire en Chanvre (2007)

MATERIALI	DOSI (kg)
Canapulo Canabrium	1
Calce Natural Lime Binder	1

Dosaggio in peso, Equilibrium, EquilibrioNaturaleCostruito

Con l'applicazione a spruzzo può anche essere facilmente realizzato il riempimento di coperture. Questa tecnica permette di raggiungere facilmente le intercapedini tra i travetti e permette di risparmiare il trasporto del materiale sulla copertura. Con questo tipo di isolamento realizzato in spessori di 20-30 cm viene garantito un buon comportamento termico del muro sia in estate che in inverno, grazie alla buona inerzia termica del calcecanapulo. L'applicazione avviene spruzzando il materiale direttamente sull'assito e livellandolo man mano con un rastrello.



Fig. 3.165-3.166 Struttura della copertura per spruzzo del calcecanapulo , [www.batiethic.fr](http://www.batiethic.fr)



Fig. 3.167 Isolamento della copertura realizzata con calcecanapulo a spruzzo, [www.eviapartner.com](http://www.eviapartner.com)



Fig. 3.168 Riempimento di copertura con calcecanapulo a spruzzo da [www.eviapartner.com](http://www.eviapartner.com)

### 3.3.1.2.4 MASSETTO A SPRUZZO



Fig.169 Massetto a spruzzo da [www.db-chanvre.com](http://www.db-chanvre.com)

#### Miscela

MATERIALI	DOSI (kg)
Canapulo Chanvribat 20 < L < 30 mm	1
Calce premiscelata Tradical PF 70	2,75

Dosaggio in peso, tratto da Construire en Chanvre (2007)

MATERIALI	DOSI (kg)
Canapulo Canabrium	1
Calce Natural Lime Binder	2,2

Dosaggio in peso, Equilibrium, EquilibrioNaturaleCostruito

Anche il massetto calpestabile è agevolmente realizzabile con la tecnica di posa a spruzzo. Così come per l'applicazione manuale, questo massetto può ricevere diversi tipi di pavimentazione (vedi paragrafo 4.4). Con la posa a spruzzo possono essere eseguiti sia massetti contro terra che massetti di solai interpiano.

Una piccola struttura in legno, eretta prima dello spruzzo del massetto, aiuta a livellare successivamente il getto ed è utile per il fissaggio degli impianti.



Fig. 3.170 Spruzzo del massetto [www.batiethic.fr](http://www.batiethic.fr)



Fig. 3.171 Livellamento del massetto applicato a spruzzo  
[www.db-chanvre](http://www.db-chanvre)



Fig. 3.172 Applicazione dei listelli in legno  
[www.db-chanvre.com](http://www.db-chanvre.com)



Fig. 3.173 Spruzzo del massetto in calcecanapulo tra listelli  
[www.db-chanvre.com](http://www.db-chanvre.com)



Fig. 3.174 Massetto realizzato a spruzzo, [www.batiethic.fr](http://www.batiethic.fr)

### 3.3.2 PREFABBRICAZIONE

L'alto profilo ecologico e le rilevati prestazioni della miscela in calcecanapulo hanno portato alcune aziende a sviluppare sistemi costruttivi prefabbricati con questo materiale. Questo tipo di tecniche comportano una messa in opera molto semplice e si prestano per questo motivo anche all'autocostruzione. Si tratta infatti di sistemi costruttivi la cui messa in opera è pensata dalle ditte produttrici nei dettagli. Un esempio ne è il sistema legno blocco messo a punto da Easy Chanvre. In questo caso l'azienda fornisce al cantiere tutto il materiale necessario alla costruzione del manufatto in blocchi prefabbricati in calcecanapulo, già prefabbricato (compresa la struttura portante).

Altra importante azienda per la produzione di blocchi prefabbricati è l'azienda francese Chanvribloc, che fornisce elementi di diverse dimensioni applicabili ai diversi impieghi, fornendo tramite delle schede tecniche molto dettagliate tutte le indicazioni necessarie a tutti i tipi di impiego e alle diverse possibilità di rivestimento.

In Italia invece, ad oggi, l'unica azienda produttrice di calcecanapulo prefabbricato (e anche non prefabbricato) è Equilibrium. Questa azienda fornisce mattoni di diverse dimensioni per la realizzazione di muri, contropareti e massetti.

Un altro sistema prefabbricato a sé stante rispetto a quelli fino ad ora citati è quello dei pannelli portanti in calcecanapulo. Questo sistema messo a punto dall'azienda inglese Modcell ha realizzato una versione in calcecanapulo dei pannelli prefabbricati in paglia precedentemente ideati. La messa in opera di questo sistema ha il vantaggio di ridurre al minimo la messa in opera in cantiere, ovvero al solo montaggio dei moduli prefabbricati e alla loro finitura, ma lo svantaggio di necessitare per tutta la posa di applicatori esperti di questa tecnica, capaci di assemblare i moduli che arrivano in cantiere completamente prefabbricati. Il trasporto e la messa in opera dei pannelli richiedono inoltre macchinari appositi per lo spostamento di elementi di dimensioni elevate.

In generale i sistemi di prefabbricazione con il calcecanapulo hanno il vantaggio di essere di semplice e veloce realizzazione e di agevolare la pulizia del cantiere, provocando poche polveri e pochi scarti di cantiere.

#### 3.3.2.1 BLOCCHI

Gli elementi tecnologici realizzati con blocchi prefabbricati hanno una migliore caratteristica di isolamento termico, rispetto a quelli realizzati con la miscela preparata in cantiere, perché vengono realizzati con la miscela (1:1) impiegata nelle altre tecniche unicamente per i riempimenti.<sup>87</sup> La loro messa in opera necessita però di strati di malta fissativa: l'elemento costruttivo che ne risulta non è perciò perfettamente omogeneo come lo è l'elemento costruito in getto. Questo rappresenta perciò uno svantaggio rispetto alle prestazioni isolanti degli elementi costruttivi realizzati con questa tecnica rispetto a quelli realizzati in con impasto umido gettato in cantiere.

---

<sup>87</sup> Il valore di conduttività termica del Biomattone di Equilibrium è di  $0,07 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ , [www.equilibrium-bioedilizia.com](http://www.equilibrium-bioedilizia.com)



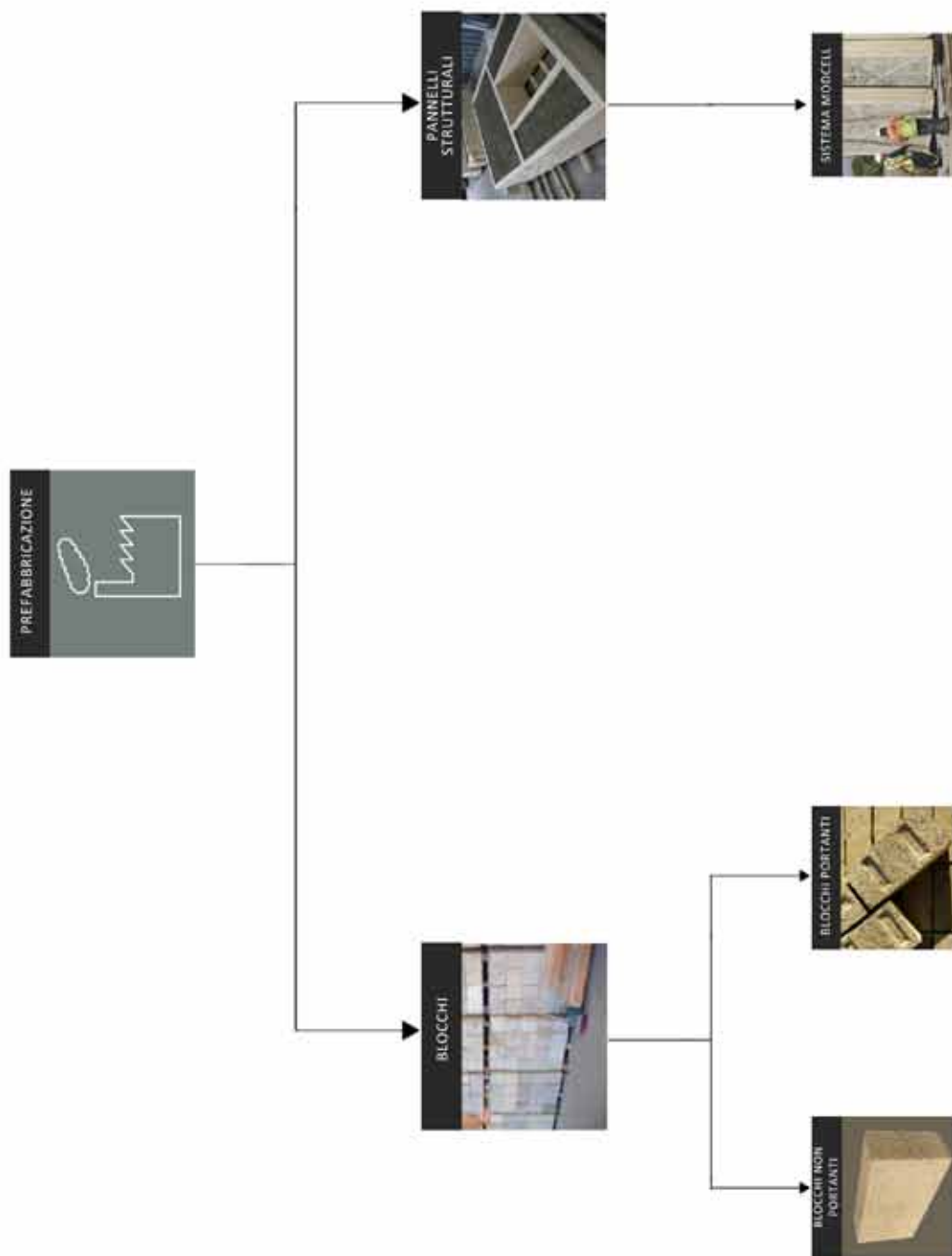


Fig. 3.175 Schema prefabbricazione in calceanapulo

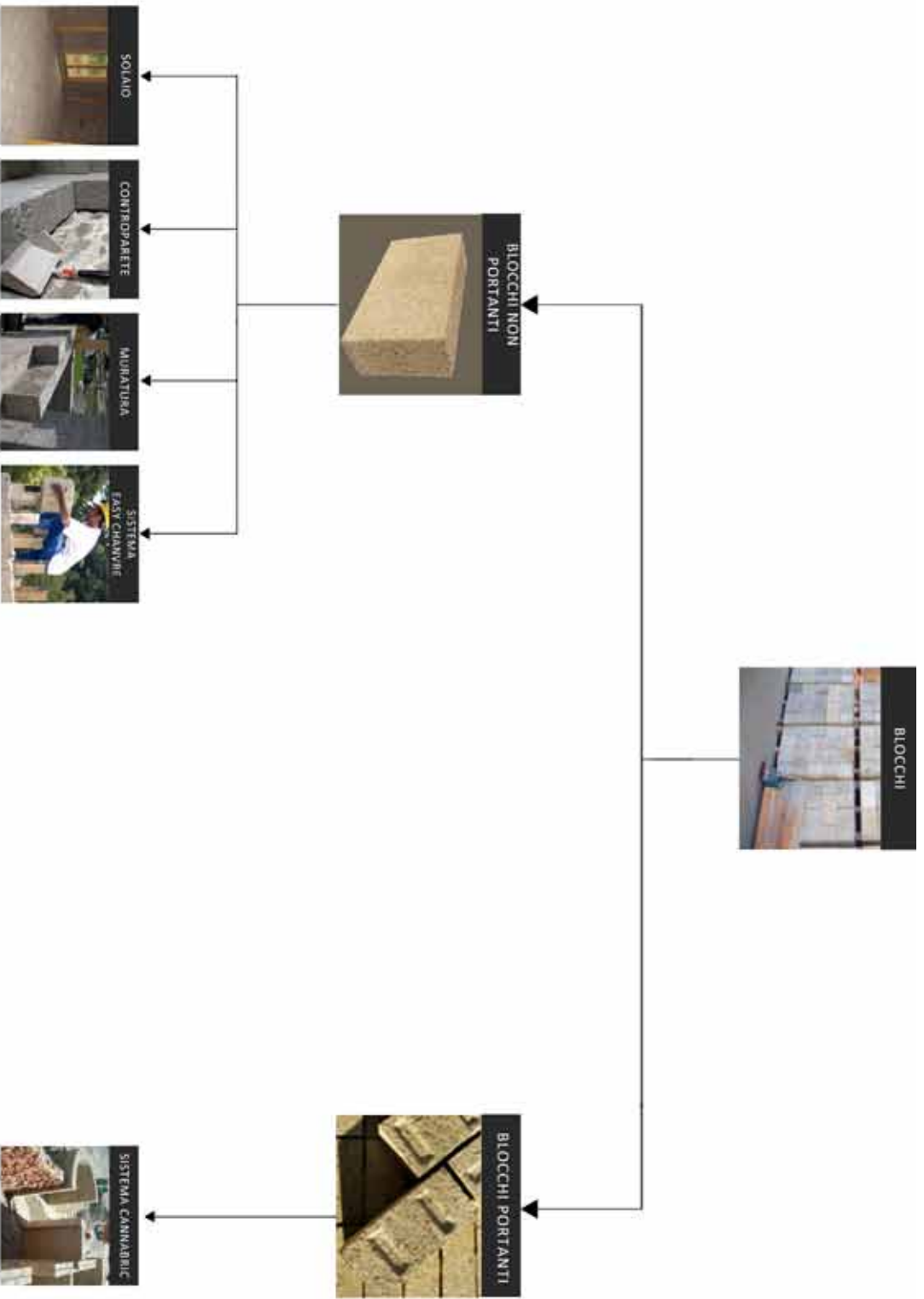


Fig. 3. 176 Schema preparazione del cantiere

### 3.3.2.1.1 SISTEMA LEGNO-BLOCCO (EASYCHANVRE)

---



Fig. 3.177 Sistema EsayChanvre, Inater, [www.inater.net](http://www.inater.net)

La realizzazione di questa tecnica consiste nell'assemblaggio in cantiere degli elementi prefabbricati forniti dall'azienda. In base al progetto essa fornisce oltre ai blocchi anche la struttura portante (montanti, architravi, pilastri d'angolo, travi perimetrali). Il sistema prevede due tipi di blocchi: un blocco base che presenta 2 fori rettangolari identici destinati a ospitare i montanti della struttura e un blocco d'angolo che presenta 2 fori rettangolari, con dimensioni diverse, uno destinato ad ospitare il montante e l'altro, il pilastro. Tale blocco è utilizzato per il telaio d'infissi, per l'ancoraggio delle pareti portanti oppure per sostenere carichi importanti. La messa in opera avviene posizionando dei blocchi di cemento prefabbricati sopra alle fondazioni, lungo il perimetro delle murature e successivamente sopra di essi deve essere fissata una membrana impermeabile per la protezione dei blocchi dalla risalita capillare. La realizzazione delle pareti vengono avviate posando per prima cosa i dormienti (5x15 cm), che vengono tagliati della misura desiderata e ricoperti con uno strato sottile di malta. Poi possono essere posizionati i blocchi lungo il perimetro, assicurandosi che il muro sia perpendicolare. Arrivati in alto con i blocchi vengono inseriti nei fori i montanti e vengono fissati alla struttura. A questo punto vengono sigillati gli spazi tra pilastri e fori versando del latte di calce. Successivamente possono essere posizionati gli ultimi blocchi e vengono fissati i travetti perimetrali.<sup>88</sup> A questo punto può essere realizzata la copertura con riempimento in calcecanapulo. L'asciugatura e la prima carbonatazione dei blocchi avvengono, con un processo di essiccazione naturale all'aria aperta, in un periodo di 4-5 settimane. A questo sistema possono essere applicate le finiture desiderate quali intonaci traspiranti o rivestimento in legno.

---

<sup>88</sup>Easy Chanvre, manuale tecnico, [www.easychanvre.fr/docpdf/fiches.pdf](http://www.easychanvre.fr/docpdf/fiches.pdf)

## Campi di impiego

Questo sistema permette la realizzazione di pareti esterne ed interne con diversi tipi di rivestimento (vedi pacchetti costruttivi A2aa4, A2aa5, A2aa6) e prevede anche la realizzazione di solai contro terra (vedi pacchetto costruttivo A1a).



Fig. 3.178 Realizzazione del basamento, [www.solaia.fr](http://www.solaia.fr)



Fig. 3.179 Posa della prima fila di blocchi, [www.solaia.fr](http://www.solaia.fr)



Fig. 3.180 Posa dei montanti prefabbricati, [www.solaia.fr](http://www.solaia.fr)



Fig. 3.181 Sigillatura con latte di calce, [www.solaia.fr](http://www.solaia.fr)



Fig. 3.182 Posizionamento dell'architrave sopra l'apertura, [www.solaia.fr](http://www.solaia.fr)

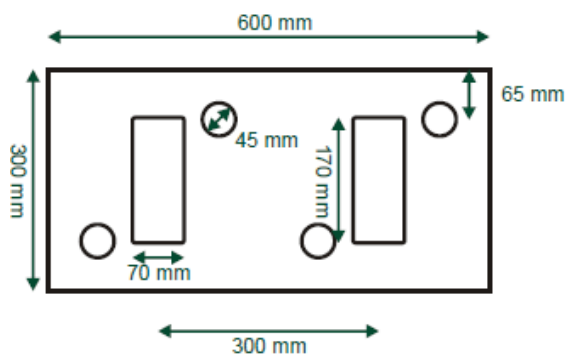


Fig. 3.183 Blocco base, [www.easychanvre.fr](http://www.easychanvre.fr)

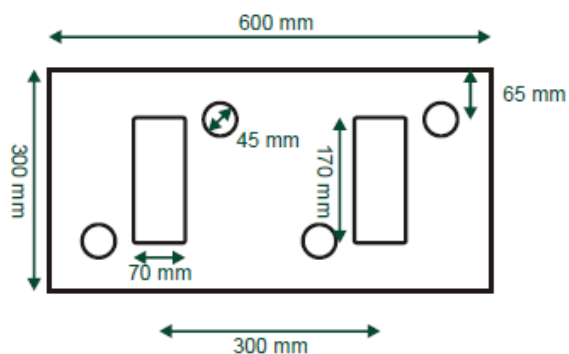


Fig. 3.184 Blocco d'angolo, [www.easychanvre.fr](http://www.easychanvre.fr)

Foto da EasyChanvre [www.easychanvre.fr](http://www.easychanvre.fr):

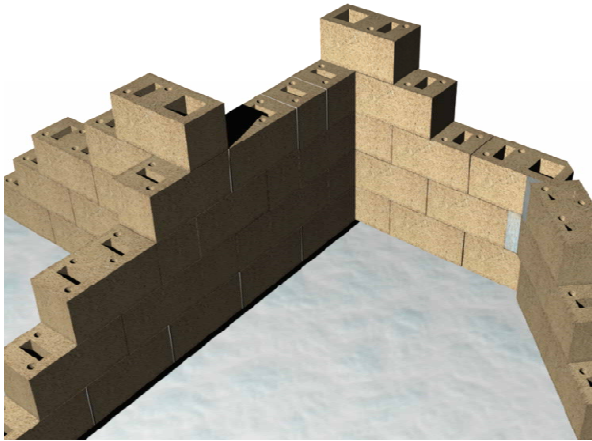


Fig. 3.185 Schema di posa dei blocchi

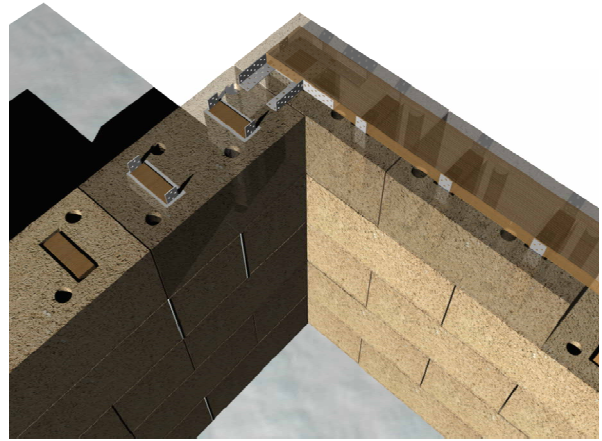


Fig. 3.186 Schema di posa dei montanti

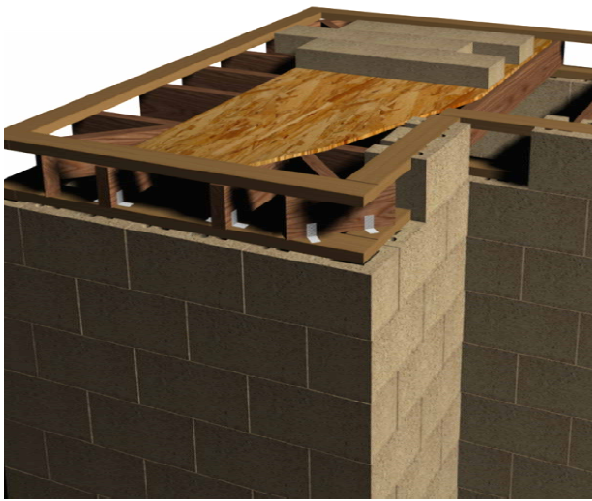


Fig. 3.187 Schema di posa del solaio

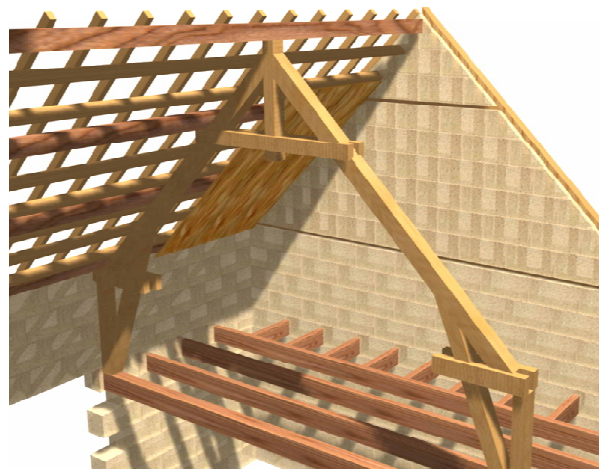


Fig. 3.188 Schema di posa della copertura

### 3.3.2.1.2 CONTROPARETE IN BLOCCHI PIENI

---



Fig. 3.189 Controparete in blocchi Chanvribloc,  
[www.chanvribloc.com/Isolation int](http://www.chanvribloc.com/Isolation int)

I blocchi prefabbricati in calcecanapulo possono essere impiegati in recuperi e in riqualificazioni energetiche mediante la realizzazione di contropareti isolanti da 10 a 30 cm di spessore. La controparete isolante può essere applicata sia come isolamento termico 'a cappotto' esterno che come isolamento interno. Dal punto di vista delle dispersioni energetiche, laddove è possibile è più vantaggioso intervenire su pareti esistenti creando dei cappotti esterni, in modo da evitare ponti termici, ma laddove questo non fosse possibile, ad esempio nel caso in cui ci fosse il vincolo della muratura esterna a vista è anche possibile realizzare le contropareti interne. Il blocco in calcecanapulo, data la sua caratteristica di regolatore igrotermico, può essere applicato direttamente contro i muri anche in presenza di umidità, senza la necessità di alcuna membrana. In caso di isolamento a cappotto esterno prima di iniziare la posa dei blocchi è necessario fissare una lamiera zincata alla parete esterna, sopraelevandola di almeno 15 cm dal terreno, allo scopo di ostacolare il fenomeno di risalita capillare dal terreno verso i blocchi.<sup>89</sup> I blocchi vengono fissati gli uni agli altri tramite uno strato sottile di malta di calce e sabbia, che viene stesa con una spatola dentata capace di realizzare il giusto spessore dello strato.<sup>90</sup> Ogni fila di blocchi viene ancorata alla parete tramite delle piccole staffe metalliche.

Alle controparti esterne in blocchi viene solitamente applicata una finitura a base di calce e sabbia mentre a quelle interne può essere applicato un intonaco di calce o di calcecanapulo.

In caso di superfici del muro esistente irregolari Chanvribloc consiglia di correggere le irregolarità con una malta di calce e sabbia. Nel caso in cui le irregolarità fossero notevoli (> 5 cm) un metodo di regolarizzazione della parete è quella di riempire l'intercapedine tra la parete esistente e i blocchi con del canapulo sfuso (vedi figura 3.194). I tempi di asciugatura di tali contropareti, da osservare prima dell'applicazione di uno strato di finitura, è di circa 30 giorni.

---

<sup>89</sup> Chanvribloc- *Le bloc chaux chanvre pour isolation et construction*, [www.chanvribloc.com](http://www.chanvribloc.com)

<sup>90</sup> *La proporzione di calce e sabbia è normalmente di 1:1 con calce NHL 3.5*, [www.chanvribloc.com](http://www.chanvribloc.com)

Nel caso venga realizzata una controparete esterna va verificato che la sporgenza del tetto la copra riparandola dall'acqua piovana, altrimenti va creata una protezione.  
Per una controparete interna va invece osservata l'altezza massima di 10 m

### Campi di impiego

Questo sistema può essere applicato a qualsiasi tipo di parete esistente (laterizio, pietra..):

- esternamente (vedi pacchetto costruttivo A'2aa)
- internamente (vedi pacchetto costruttivo A'2ab)

Foto da Chanvribloc, [www.chanvribloc.com](http://www.chanvribloc.com):



Fig. 3.190 Rialzo in lamiera zincata



Fig. 3.191 Applicazione dello strato di malta per il fissaggio dei mattoni



Fig. 3.192 Capotto esterno in blocchi



Fig. 3.193 Staffa metallica di fissaggio dei blocchi alla parete



Fig. 3.194 Controparete interna in blocchi



Fig. 3.195 Riempimento dell'intercapedine tra muro e blocchi con canapulo sfuso

### 3.3.2.1.3 MURATURA NON PORTANTE IN BLOCCHI PIENI

---



Fig. 3.196 Muratura in blocchi pieni in calcecanapulo, Chanvribloc, [www.chanvribloc.com](http://www.chanvribloc.com)

I blocchi in calcecanapulo possono essere impiegati nelle nuove costruzioni come murature di tamponamento. La posa dei muri di tamponamento con tali blocchi è molto veloce e la loro scarsa massa volumica facilita la loro messa in opera in cantiere. Questa tecnica viene normalmente abbinata a strutture portanti puntiformi in legno, alle quali i blocchi vengono fissati tramite staffe metalliche. Per questo tipo di tamponamento la distanza tra gli elementi portanti non dovrebbe superare i 4 m. Per proteggere i blocchi dalla risalita capillare del terreno, sotto alla parete in blocchi è necessario realizzare un basamento di cemento sollevato dal terreno di almeno 15 cm lungo il perimetro dell'edificio. Sopra a tale basamento può essere direttamente appoggiata la prima fila di blocchi. Questi, vengono fissati con un sottile strato di malta di calce e sabbia e dovrebbero essere posati a giunti alternati con una sovrapposizione uguale almeno ad un terzo del mattone.<sup>91</sup>

E' molto importante durante la realizzazione di tali tamponamenti controllare rigorosamente l'allineamento orizzontale e verticale dei blocchi.

L'asciugatura di un tamponamento realizzato con blocchi da 30 cm richiede circa 4 settimane.<sup>92</sup>

Trascorso tale periodo è possibile applicare la finitura desiderata. Esternamente è sempre richiesto un intonaco impermeabile a base di calce.

#### **Campi di impiego**

Tale sistema viene solitamente impiegato in abbinamento a strutture portanti in legno, ma può essere anche abbinato a strutture in acciaio o cemento, per tamponamenti di diversi spessori con rivestimenti e finiture diverse (vedi pacchetti costruttivi A2aa).

---

<sup>91</sup> La proporzione di calce e sabbia è normalmente di 1:1 con calce NHL 3.5, [www.chanvribloc.com](http://www.chanvribloc.com)

<sup>92</sup> Chanvribloc- Le bloc chaux chanvre pour isolation et construction, [www.chanvribloc.com](http://www.chanvribloc.com)





Fig. 3.197 Realizzazione del basamento



Fig. 3.198 Posa della prima fila di blocchi



Fig. 3.199 Aggancio alla struttura portante



Fig. 3.200 Verifica di allineamento



Fig. 3.201 Inserimento del serramento



Fig. 3.202 Posizionamento del serramento

### 3.3.2.1.4 MASSETTO IN BLOCCHI PIENI

---



Fig. 3.203 Solaio in blocchi, [www.chanvribloc.com](http://www.chanvribloc.com)

I blocchi prefabbricati in calcecanapulo possono anche essere impiegati, in spessori di 20-25 cm, per la realizzazione di solai. Questa tecnica è stata però fin ora poco utilizzata rispetto a quella a getto. Il suo svantaggio consiste nel fatto che, a differenza del massetto in getto in calcecanapulo, nel massetto in blocchi non possono essere posizionati gli impianti. Questo fattore vincola quindi l'uso di tale sistema solo a soluzioni in cui gli impianti vengano posizionati altrove, ad esempio in controsoffitti. Tale tecnica si rivela di facile e veloce applicazione ed ha il vantaggio di essere completamente a secco. La posa dei blocchi in orizzontale non richiede infatti l'uso della malta. In questo modo la posa dei blocchi è più veloce rispetto a quella necessaria per le murature e i tempi di asciugatura vengono completamente annullati. Per riempire gli interstizi tra blocchi può essere utilizzato del canapulo sfuso (vedi figura 3.204).

Sopra a tali blocchi è possibile applicare qualsiasi tipo di rivestimento, sia a secco (sistemi di parquet a secco) che con uno strato di malta (piastrelle, parquet su magatelli). Inoltre è anche possibile combinarvi un sistema di riscaldamento a pavimento.

E' stato anche impiegato l'uso di tali blocchi per il riempimento di solai interpiano. In questo caso essi vengono posizionati tra i travetti facendo attenzione a non creare interstizi troppo grossi ai bordi. Successivamente può essere versato del canapulo sfuso per raggiungere il livello dei travetti e per riempire eventuali intercapedini.

#### Campi di impiego

Il sistema a blocchi può essere impiegato per solai contro terra (vedi pacchetto costruttivo A1a) e solai interpiano (vedi pacchetti B1a).



Fig. 3.204 Solaio interpiano in blocchi di calcecanapulo da [www.solaia.fr](http://www.solaia.fr)



Fig. 3.205 Sperimentazioni di riempimenti di soali in blocchi, Cantiere di Cascina Corte Sacro Cuore, Casatenovo (LC), Arch. S. Sabbadini



Fig. 3.206 Sperimentazioni di riempimenti di soali in blocchi, Cantiere di Cascina Corte Sacro Cuore, Casatenovo (LC), Arch. S. Sabbadini

### 3.3.2.1.5 MURATURA PORTANTE IN MATTONI PIENI

---



Fig. 3.207 Pareti portanti, Cannabric, [www.cannabric.com](http://www.cannabric.com)

La muratura portante in blocchi pieni in calcecanapulo è una tecnica costruttiva nata in Spagna, nei pressi di Granada nel 1999, allo scopo di creare un sistema costruttivo con bassi impatti ambientali e alte prestazioni termiche ed acustiche.<sup>80</sup> Ideato principalmente per la realizzazione di pareti perimetrali portanti esso si presta anche alla realizzazione di contropareti autoportanti. Ha il vantaggio di non necessitare di alcun altro materiale strutturale e di permettere la costruzione di case fino a 3 o più piani unicamente in calcecanapulo.

Questi blocchi con densità di  $1171 \text{ kg/m}^3$  hanno una bassa conduttività termica ( $0,1875 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ ) e una buona capacità termica ( $1303 \text{ kJ/m}^3\cdot\text{K}$ ), caratteristiche che permettono alla muratura di proteggere l'ambiente interno sia dal freddo invernale che da temperature alte estive. Questi blocchi sono composti da canapulo e legante a base di calce e argilla del luogo, (quindi con un basso impatto ambientale di produzione). Le loro capacità di traspirabilità e permeabilità richiedono l'impiego di intonaci e finiture naturali con proprietà con esso coerenti.

Nonostante la longevità di questo materiale, in caso di smaltimento, esso ha il vantaggio che l'intera muratura può essere riciclata, sgretolandola e utilizzando la polvere per la miscelazione di intonaci a base di calcecanapulo.

Prima della messa in opera dei blocchi è necessario creare un basamento rialzato da terra sopra al quale verranno posati i blocchi; inoltre sul basamento, sotto ai blocchi, viene posizionata una barriera alla risalita capillare dal basamento.

La messa in opera di questi mattoni deve però avvenire secondo schemi di costruzione stabiliti dall'azienda produttrice (Cannabric) seguendo le corrette posizioni e tipologie di mattoni:  $30 \times 14,5 \times 10,5 \text{ cm}$  (mattono intero) di  $14,5 \times 14,5 \times 10,5 \text{ cm}$  (mezzo mattone) e  $21,5 \times 14,5 \times 10,5 \text{ cm}$  (tre quarti mattone).

---

<sup>80</sup> CANNABRIC\_technical\_data\_sheet\_www.cannabric.com

Questa tecnica prevede l'impiego di una calce idraulica tipo NHL5 o ancora meglio NHL3,5 o NHL2 (in un dosaggio 1:4). Con muri di bassi spessori (fino a 30 cm) può anche essere impiegata una malta di grassello (facendo attenzione all'impiego della corretta sabbia). Altrimenti è anche possibile l'impiego di malte a base di canapulo e calce.

Campi di impiego

Questa tecnica può essere impiegata per murature perimetrali (30 cm) portanti oppure per murature interne (14,5 o 10,5 cm).

Foto da Cannabric, [www.cannabric.com](http://www.cannabric.com):



Fig. 3.208 Messa in opera dei blocchi



Fig. 3.209 Posa dei pannelli radianti a parete e fissaggio con apposita malta di calce



Fig. 3.210-211 Risultati a posa ultimata



Schemi di posa da Cannabric, [www.cannabric.com](http://www.cannabric.com):

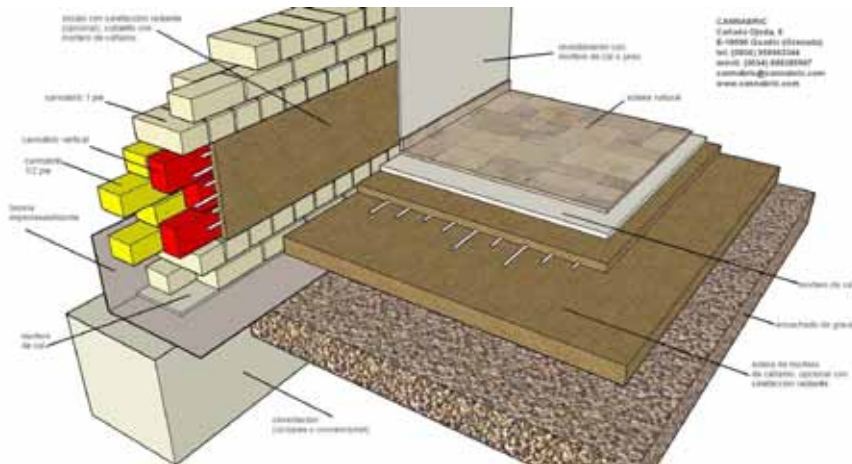


Fig. 3.212 Schema costruttivo dell'attacco del muro al basamento e del riscaldamento a parete

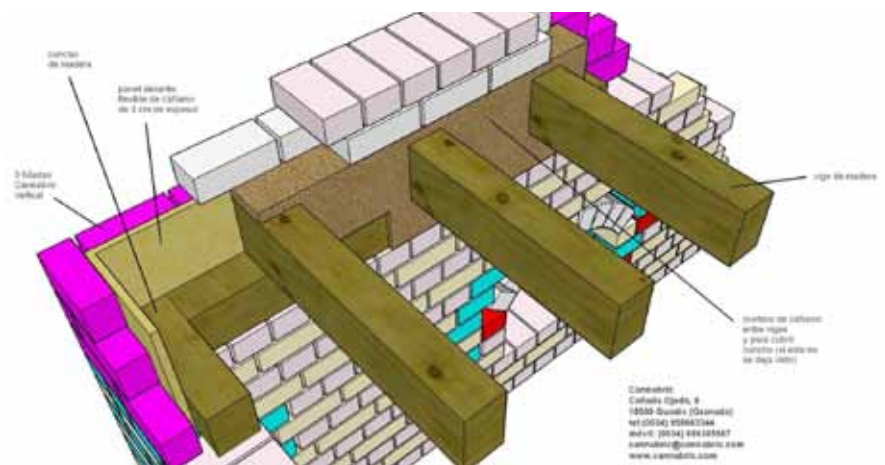


Fig. 3.213 Schema costruttivo dell'attacco della copertura

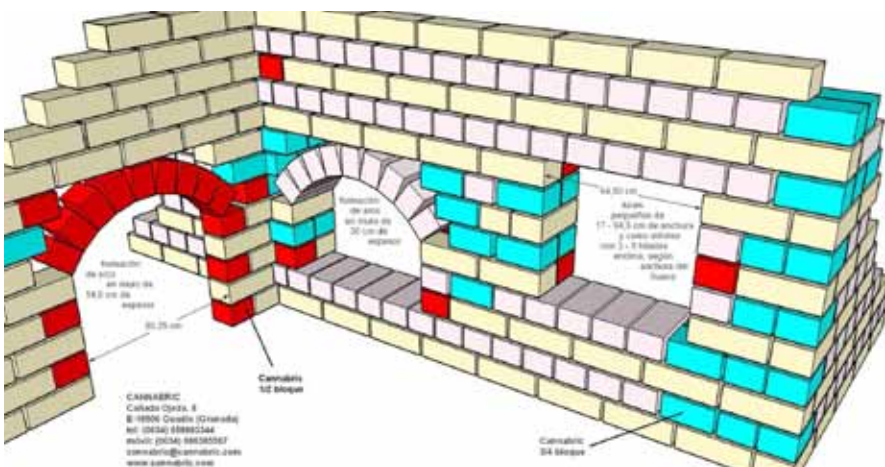


Fig. 3.214 Schema costruttivo dell'arco

### 3.3.2.2 PANNELLI STRUTTURALI

Altro sistema costruttivo prefabbricato è quello dei pannelli strutturali interamente realizzati in stabilimento per poi essere trasportati e montati in cantiere riducendo drasticamente la necessità di mano d'opera in cantiere e gli scarti di materiale. Questi pannelli costituiscono interamente l'involucro senza necessitare l'inserimento di alcuna altra struttura.

#### 3.3.2.2.1 SISTEMA MODCELL

---



Fig. 3.215 Pannelli strutturali, Modcell, [www.modcell.com](http://www.modcell.com)

Il pannello prefabbricato in calcecanapulo (Modcell Hemp) è composto da un'unità di parete che comprende una struttura in legno multistrato all'interno della quale viene spruzzato il calcecanapulo.<sup>81</sup> Esso può essere impiegato come pannello strutturale oppure, in abbinamento con un telaio strutturale come tamponamento.

Questi pannelli vengono assemblati in fabbrica e portati in cantiere pronti per il loro montaggio.

Le loro dimensioni variano e possono anche essere adattate a particolari progetti, tuttavia le dimensioni comuni sono 3 m di altezza per 3,2 m di larghezza con uno spessore tra 30 cm a 49 cm.

La messa in opera di questo sistema consiste nel montaggio dei pannelli tramite una gru telescopica e il loro fissaggio alla soletta, anch'essa prefabbricata, preventivamente montata. I pannelli vengono assemblati a una distanza di 20 mm tra di loro e questa distanza viene poi sigillata con degli appositi nastri di guarnizione. Una volta effettuata la posa viene applicato un ulteriore strato di intonaco a base di calce idraulica traspirante. Rispetto alle scelte progettuali possono poi essere applicati i diversi tipi di finitura

#### Campi di impiego

L'uso dei pannelli strutturali<sup>82</sup> è sconsigliato per altezze superiori ai tre piani, per le quali è consigliato

---

<sup>81</sup> Il sistema prevede l'impiego del getto Tradical® Hemcrete® per muri.

<sup>82</sup> Modcell pannelli prefabbricati, [www.modcell.com](http://www.modcell.com)

l'impiego di una struttura portante.

La stratigrafia del pannello comunque non varia a seconda che il pannello venga impiegato con funzione portante o meno (vedi pacchetto costruttivo A2ab1).

Foto da Modcell, [www.modcell.com](http://www.modcell.com):



Fig. 3.216 Assemblaggio della struttura in legno



Fig. 3.217 Pannello in fase di asciugatura



Fig. 3.218 Preparazione al trasporto



Fig. 3.219 Montaggio dei pannelli sul sito mediante



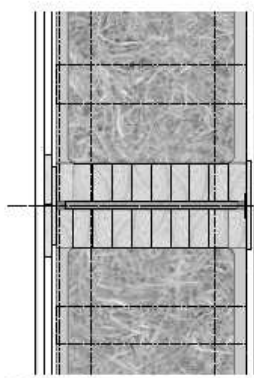


Fig. 3.221 Nodo pannello pannello

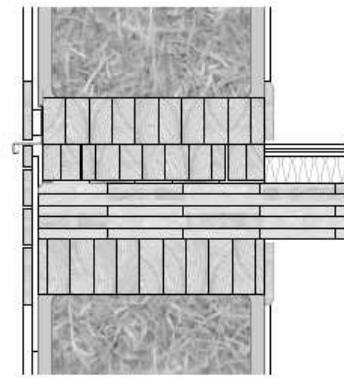


Fig. 3.222 Nodo parete solaio

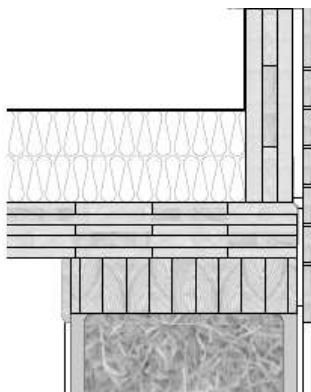


Fig. 3.223 Nodo copertura piana

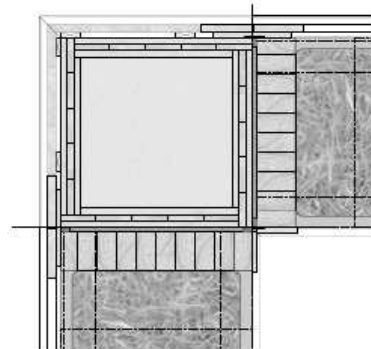


Fig. 3.224 Angolo con pilastro

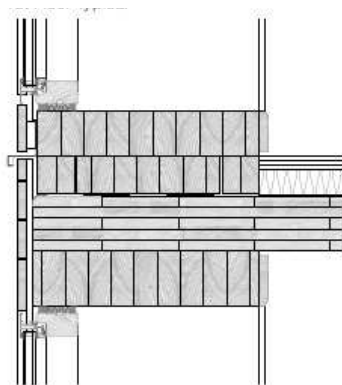


Fig. 3.225 Attacco serramento

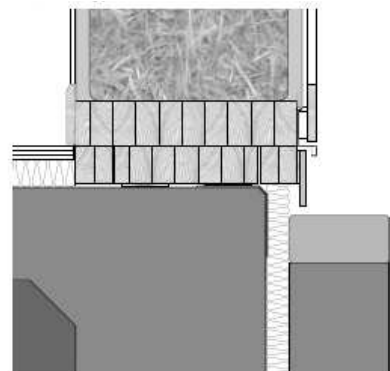


Fig. 3.226 Attacco al basamento



## 4. ABACHI DEI PACCHETTI COSTRUTTIVI PER LA COSTRUZIONE IN CALCECANAPULO

### 4.1 CONSIDERAZIONI PRELIMINARI E OBIETTIVI DELLO STUDIO

Al fine di rendere più completa la ricerca su questo materiale naturale innovativo, e contribuire al suo inserimento nel mondo della bioedilizia italiana, vengono studiate differenti soluzioni per la realizzazione di sistemi costruttivi in grado di soddisfare i requisiti della normativa italiana vigente (D.L. 311/2006)<sup>1</sup> riguardanti il risparmio energetico.

Tale studio consiste nell'elaborazione delle schede di possibili stratigrafie che mirano a rispondere ai requisiti richiesti, utilizzando materiali ecocompatibili e mettendo in pratica le tecniche costruttive in calcecanapulo; vengono prese in considerazione sia casistiche per la nuova costruzione sia casistiche per il recupero del patrimonio esistente.

Per quanto riguarda **le casistiche di interventi di nuova costruzione, le soluzioni sono studiate per soddisfare i requisiti di trasmittanza termica delle strutture verticali e orizzontali (o inclinate) opache<sup>2</sup> della zona climatica F, in vigore dal 14 Marzo 2010** con il D.M. del 26 Gennaio 2010, attraverso il quale il Ministero dello Sviluppo ha modificato i limiti di trasmittanza del DPR 59/09, (entrato in vigore dal 1 Gennaio 2010) per godere delle detrazioni fiscali del 55% .

Per quanto riguarda invece la realizzazione dei **pacchetti costruttivi per il recupero, lo scopo principale è quello di migliorare le prestazioni termiche dell'edificio, soddisfacendo i requisiti di trasmittanza termica delle strutture verticali e orizzontali (o inclinate) opache entrati in vigore dal 1 Gennaio 2010, definiti sempre per la zona F** (vedi paragrafo 4.3.1).

Nella tabella 4.1 sono riportati i valori limite della trasmittanza termica U delle strutture verticali e orizzontali (o inclinate) opache definiti per le diverse zone climatiche in corrispondenza sia al DPR 59/09 in vigore dal 1 Gennaio 2010 che al D.M. del 26 Gennaio 2010 in vigore dal 14 Marzo 2010.

Gli abachi tengono in considerazione come valori di trasmittanza da soddisfare quelli definiti per la zona F; si nota che tali valori limite sono i più restrittivi e quindi le soluzioni proposte dei pacchetti costruttivi sono anche in grado di soddisfare i requisiti di trasmittanza termica delle altre zone climatiche.

---

*1 Decreto Legislativo N° 311 – 29 Dicembre 2006 - Disposizioni correttive ed integrative al decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192, recante attuazione della direttiva 2002/91/CE, relativa al rendimento energetico nell'edilizia.*

*2 Elementi riferiti alla Norma UNI8290-1:1981 Edilizia residenziale. Sistema tecnologico. Classificazione e terminologia*

Valori limite della <b>trasmissione termica U</b> delle <b>strutture componenti opache l'involucro edilizio</b> espressa in $W/m^2K$						
Zona climatica DPR 412/93	Strutture verticali		Strutture orizzontali o inclinate			
	DPR 59/09 10 giugno 2009	D.M. 26 Gennaio 2010 *	Coperture		Pavimenti	
	DPR 59/09 10 giugno 2009	D.M. 26 Gennaio 2010 *	DPR 59/09 10 giugno 2009	D.M. 26 Gennaio 2010 *	DPR 59/09 10 giugno 2009	D.M. 26 Gennaio 2010 *
A	0,62	0,54	0,38	0,32	0,65	0,6
B	0,48	0,41	0,38	0,32	0,49	0,46
C	0,40	0,34	0,38	0,32	0,42	0,40
D	0,36	0,29	0,32	0,27	0,36	0,34
E	0,34	0,27	0,30	0,24	0,33	0,30
F	0,33	0,26	0,29	0,23	0,32	0,28

Tab. 4.1 Valori limite della trasmissione termica U delle strutture opache dell'involucro edilizio

Lo studio vuole essere anche una possibilità per esplorare le molteplici soluzioni e i molteplici campi d'impiego che il calcecanapulo è in grado di offrire attraverso l'applicazione delle tecniche costruttive esaminate nel capitolo 3 nonché l'elaborazione di ulteriori ipotesi dell'utilizzo del materiale innovativo con prodotti e sistemi che si possono trovare oggi in commercio e che verranno esaminati nei prossimi paragrafi.

## 4.2 MATERIALI ECOLOGICI PER L'ABBINAMENTO CON IL CALCECANAPULO

Nella progettazione sono stati utilizzati quasi esclusivamente materiali di tipo naturale, con requisiti ecosostenibili accettati dalla bioedilizia.

Non avendo allo stato attuale una normativa italiana che prenda in considerazione le tecniche costruttive in calcecanapulo, gli abachi elaborati prendono in considerazione tecniche costruttive in calcecanapulo con funzione non portante in abbinamento con strutture portanti in legno per le nuove costruzioni e con diverse strutture portanti tradizionali (legno, pietra e laterizio) nei casi di recuperi di edifici esistenti.

Il legno, oltre ad essere un materiale principe della bioedilizia in quanto è naturale e rinnovabile, è un materiale che ben si abbina alle tecniche costruttive in calcecanapulo, come è stato già dimostrato in dettaglio nel capitolo 3. Perciò sono presi in considerazione sistemi costruttivi portanti sia tradizionali che contemporanei in legno da abbinare al calcecanapulo.

Il tipo di impasto di calcecanapulo utilizzato cambia da un pacchetto costruttivo all'altro in base alle sue capacità isolanti e al suo livello di resistenza meccanica (vedi paragrafo 3.2.4.1 Dosaggi nel capitolo 3). Benchè alcuni sistemi costruttivi di tamponamento possono essere realizzati esclusivamente con l'impiego del getto o dei blocchi prefabbricati in calcecanapulo, in alcuni casi è richiesto l'utilizzo di altri materiali isolanti (intonaci o pannelli isolanti), al fine di migliorare le prestazioni termiche ed acustiche della struttura senza superare gli spessori massimi per una coerente tempistica di asciugatura degli impasti di calcecanapulo. In tali casi sono impiegati materiali con alta traspirabilità (per non ostacolare le prestazioni igroscopiche del calcecanapulo) e permeabili al vapore (capaci di resistere alla naturale presenza di umidità del calcecanapulo).



Fig. 4.1 Riempimento del tetto inclinato con isolante sfuso.



Fig. 4.2 Modello copertura Legolegno



Fig. 4.3 Modello solaio Legnolegno



Fig. 4.4 Riempimento del vano tecnico del solaio con isolate sfuso.

I pannelli rigidi per l'impiego dei casseri a perdere e per il sistema di riempimento per il tamponamento delle chiusure verticali<sup>3</sup> vengono scelti, oltre che per la loro traspirabilità e permeabilità al vapore, anche per le loro capacità di resistenza strutturale con effetto di controventatura per le strutture lignee a telaio.

In tutti i pacchetti proposti vengono presi in considerazione materiali attualmente in commercio e le loro caratteristiche tecniche corrispondono a quelle dichiarate dalle case produttrici.

#### 4.2.1 SISTEMI PREFABBRICATI IN LEGNO

##### 4.2.1.1 Il sistema massivo a travi accostate: Legnolegno

Il sistema è nato come sistema costruttivo prefabbricato per solai, composto da elementi modulari in legno di abete (su richiesta anche in larice e in rovere) che vengono assemblati a secco. Il sistema costruttivo oggi prevede anche la produzione anche di sistemi strutturali per coperture e per pareti portanti realizzati con lo stesso principio. I singoli elementi sono composti da tavole essiccate e forate, che vengono assemblate con perni in legno duro infilati a secco. Al fine di facilitare il montaggio e limitare le dilatazioni trasversali, nei moduli sono inserite delle barre di acciaio inox oltre ad alcuni spinotti di fissaggio in legno. I moduli prefabbricati si comportano staticamente come una piastra unidirezionale, sono predisposti per l'impiego in zona sismica e possono essere ordinati su misura, fino a una lunghezza da 13m e fino ad una larghezza di 1m, con uno spessore minimo di 8cm, per assicurare una resistenza al fuoco pari ad almeno 30 minuti.

Il montaggio avviene in modo rapido, senza l'impiego di manodopera qualificata, ed è sempre smontabile, facile da ispezionare e riutilizzabile per un nuovo impiego.

Il carattere massiccio dei moduli assicura l'isolamento acustico e riduce il passaggio del suono. I moduli vengono forniti premontati con le superfici già finite, oppure possono essere rivestiti e coibentati.<sup>4</sup>

Nel nostro caso sono presi in considerazione i sistemi Legolegno per solai e coperture, dove il vano tecnico previsto per gli impianti e per contenere un coibente granulare, viene ricoperto da carta Kraft e

<sup>3</sup> Sistema ipotizzato e realizzato per la prima volta da Equilibrium in un cantiere a Casatenovo in Italia, utilizzando i pannelli Megapan, [www.equilibrium-bioedilizia.it](http://www.equilibrium-bioedilizia.it)

<sup>4</sup> [www.legnolegno.it](http://www.legnolegno.it)



Fig. 4.5 Montaggio dei pannelli di un sistema a telaio in cantiere

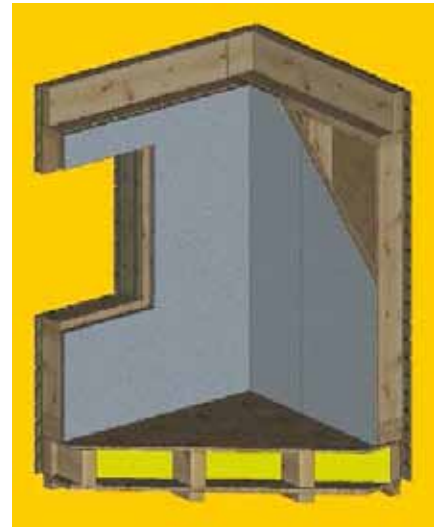


Fig. 4.6 Stratigrafia del pannello tipo Xilema

riempito con calcecanapulo 1:1 a secco o con canapulo sfuso, formando la parte isolante del sistema. L'utilizzo di tale sistema richiede l'impiego di un pannello di legno posizionato sopra il materiale isolante sfuso, appoggiato alle tavole componenti del sistema al fine di completare la stratigrafia fino alla pavimentazione prevista (lignea o di altro materiale).

#### 4.2.1.2 Il sistema a telaio

Il sistema, che fonda le sue radici nell'antica tradizione degli edifici lignei, prevede la realizzazione di un'intelaiatura portante in travetti di legno di abete, controventati con pannelli (gesso fibra, OSB, multistrati ect.).

Questi ultimi oltre alla controventatura possono fungere anche da casseri a perdere e da supporto per diversi tipi di finitura permettendo diverse possibilità di personalizzazione del progetto. L'intelaiatura portante, assemblata con un sistema di incastri o giunti metallici, crea un insieme flessibile e particolarmente stabile anche in caso di scosse sismiche di elevata magnitudo. Ulteriore comfort interno all'abitazione è frutto dell'utilizzo di materiali di coibentazione biologici e ad alto valore di diffusione che, uniti, alle naturali caratteristiche del legno, assicurano un ottimale equilibrio termo-igrometrico tra interni ed esterni.

Uno dei sistemi a telaio sviluppato dalla ditta Xilema applica trattamenti ignifughi al materiale isolante e al rivestimento delle pareti con pannelli pannelli in gessofibra Knauf Diamond, conferendo un'alta resistenza al fuoco (classe di infiammabilità 6.3/A2). Questo sistema prevede che ogni elemento costruttivo sia conforme allo standard Minergie, che è la certificazione energetica più diffusa in Svizzera e rappresenta la norma per l'uso razionale dell'energia e il consumo minimo di energie non rinnovabili.

La leggerezza della struttura consente la prefabbricazione in officina di solette e pareti attrezzate e ciò comporta dei tempi di realizzazione assolutamente inferiori rispetto alle costruzioni tradizionali (2-3 mesi dall'inizio dei lavori).<sup>5</sup>

Nei nostri abachi dei pacchetti costruttivi vengono ipotizzati dei sistemi costruttivi utilizzando il

---

<sup>5</sup> [www.xilema.ch](http://www.xilema.ch)



Fig. 4.7 Casseri a perdere realizzati in pannelli Eraclit



Fig. 4.8 Parete in calcecanapulo contro pannelli Eraclit



Fig. 4.9 Pannello legnomagnesite tipo Eraclit

calcecanapulo 1:1 a secco e il canapulo sfuso come materiale isolante per il riempimento degli intercedini delle strutture prefabbricate Xilema.

## 4.2.2 PANNELLI RIGIDI

### 4.2.2.1 Pannelli di legnomagnesite Eraclit

I pannelli della gamma Eraclit, nelle loro diverse tipologie, sono tutti prodotti con lana di legno mineralizzata con magnesite ad alta temperatura.

La magnesite utilizzata per la produzione dei pannelli della gamma Eraclit è l'ossido di magnesio (MgO) o "magnesite caustica", ottenuta per calcinazione in forno rotativo da magnesite minerale ad alto contenuto di carbonato di magnesio. Caratteristica dell'ossido di magnesio è di combinarsi con il solfato di magnesio (MgSO<sub>4</sub>) in soluzione costituendo un prodotto cristallino di forti proprietà leganti: l'ossisolfato di magnesio. Il processo produttivo ad alta temperatura, consente di eliminare dalle fibre di legno le sostanze organiche infamabili e deperibili e questo processo conferisce ai pannelli della gamma Eraclit le note caratteristiche termiche ed acustiche, oltre all'eccezionale comportamento al fuoco ed all'inalterabilità per tempi lunghissimi. Per quanto riguarda le prestazioni antincendio, i pannelli Eraclit se aggrediti dal fuoco, si trasformano progressivamente in un isolante leggero e refrattario che protegge le strutture retrostanti.

Grazie alla massa relativamente elevata (350-500 kg/m<sup>3</sup>) ed alla importantissima proprietà di portarsi sempre in equilibrio termoigrometrico con l'ambiente, i pannelli Eraclit costituiscono inoltre un valido volano termico ed igrometrico e sono quindi in grado di smorzare le fluttuazioni accidentali di umidità e temperatura, rendendo così estremamente difficile la formazione di condense.

La composizione in materie prime tutte naturali (legno e magnesite) e la totale assenza di sostanze nocive rendono i pannelli Eraclit particolarmente indicati per il benessere dell'uomo, tanto da essere classificati ai primi posti, tra i materiali da costruzione e finitura, nelle tabelle di compatibilità biologica redatte dall'"Institute für Baubiologie" di Rosenheim (D) e raccomandati anche dall'"Institut für Baubiologie & Ökologie" di Neubeuern (D) per la provata ecobiocompatibilità, oltre che per l'assenza di componenti nocivi.

I pannelli Eraclit sono prodotti in regime di controllo qualità aziendale in conformità alla Norma UNI



Fig. 4.10 Intonaco di finitura in calcecanapulo su un pannello in gessofibrato

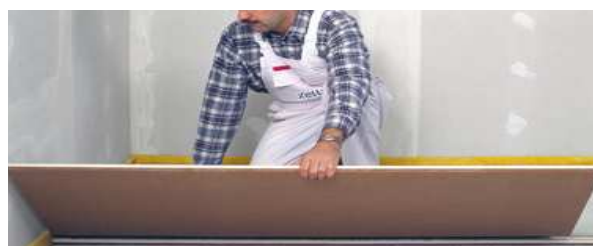


Fig.4.11 Pavimentazione a secco con pannelli in gessofibra



Fig. 4.12 Pannello in gessofibra tipo Fermacell

EN ISO 9001/2000. I pannelli sono disponibili in spessori che vanno dai 1,5 ai 10 cm in formato da 50 x 125-200 cm e hanno una conducibilità termica dichiarata di 0,09 W/mK.<sup>6</sup>

Nello studio dei particolari costruttivi per le chiusure verticali, i pannelli Eraclit vengono utilizzati non con funzione di controventatura ma per:

- la realizzazione dei casseri a perdere dei muri in getto in calcecanapulo 1:2,2 (vedi figura 4.7);
- come casseri a perdere e funzione porta intonaco per i getti 1:1 di calcecanapulo.

L'utilizzo di tali pannelli migliora anche le prestazioni acustiche dei diversi sistemi costruttivi presi in esame.

#### 4.2.2.2 Pannelli in gessofibra Fermacell

I pannelli Fermacell sono composti da due soli componenti naturali: gesso e fibre di cellulosa ottenute da carta riciclata selezionata e sminuzzata. Il processo produttivo prevede la miscela di questi due componenti in acqua (senza altri leganti) dove il gesso miscelato in acqua reagisce (calcinazione) e avvolge le fibre di cellulosa penetrandole; sottoponendo questa miscela omogenea di base a compressione, si ottengono i pannelli Fermacell Gessofibra. Si tratta quindi di un prodotto assolutamente naturale che risponde alle direttive della bioedilizia.

In seguito, i pannelli vengono tagliati negli spessori voluti e lasciati ad asciugare per poi essere levigati e trattati con un primer impermeabilizzante su entrambi i lati. Grazie alla presenza di fibre, tali pannelli hanno elevata stabilità, ottima resistenza meccanica (Resistenza alla flessione  $\geq 6,0$  N/mm<sup>2</sup> per uno spessore di 12,5 mm) e ottime caratteristiche di resistenza al fuoco (sono omologati in "classe 0" secondo le prove sperimentali effettuate presso l'Istituto Giordano di Bellaria) e sono inoltre adatte anche all'uso in ambienti umidi. Per la loro composizione, i pannelli si prestano ad essere utilizzate per l'isolamento acustico, termico e per l'antincendio.

In base agli risultati dei controlli effettuati sul prodotto, l'Istituto per la Bioedilizia Rosenheim GmbH, ha rilasciato il proprio marchio di biocompatibilità per tutte le linee di produzione di Fermacell Gessofibra. I pannelli sono disponibili in spessori che vanno dai 1,25 ai 1,8 cm in formati variabili (150-300 x 100-





Fig. 4.13 Riempimento con calcecanapulo di una chiusura verticale realizzata in pannelli Megapan

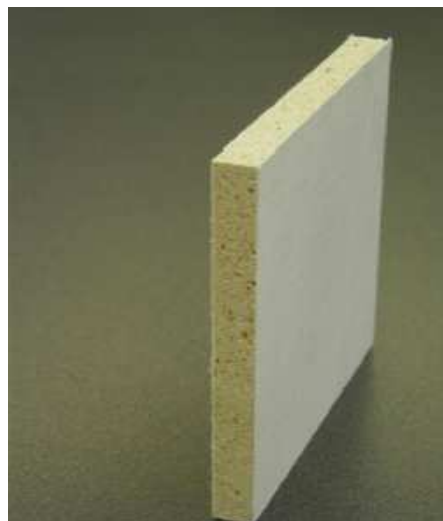


Fig. 4.14 Pannello magnesite tipo Megapan

120 cm) e hanno una conducibilità termica dichiarata di 0,32 W/mK.<sup>7</sup>

Per le loro buone caratteristiche, i pannelli in gessofibra sono scelti per svolgere le seguenti funzioni nel nostro caso:

- pannelli di finitura di diverse tipologie di chiusure verticali
- casseri a perdere per le chiusure verticali in getto in calcecanapulo 1:2,2
- pannelli sottostanti alla pavimentazione a secco nelle partizioni interne orizzontali in modo da assicurare l'omogeneità e la rigidità della superficie.

#### 4.2.2.3 Pannelli magnesite Megapan

Megapan è un pannello realizzato interamente in ossido di magnesio e cloruro di magnesio con una miscela legante naturale ed una rete in fibra di vetro posta sotto le superfici. Il pannello è caratterizzato da alta resistenza al fuoco (Euroclasse A1), impermeabile all'acqua e permeabile al vapore acqueo, non si disgrega se immerso in acqua per oltre un mese, ha grande facilità di lavorazione, elevata densità e resistenza all'erosione, si propone ai più svariati campi di applicazione, offrendo un'elevata libertà d'azione ai progettisti e si adatta alla sostituzione dei tradizionali pannelli da costruzione. La sua versatilità lo rende particolarmente indicato per le finiture di interni ed esterni, nonché come pannello decorativo per ogni tipo di residenza, condomini, edifici commerciali pubblici e privati. Ottimo per barriere tagliafuoco, porte e pareti antincendio su specifiche REI, sottobase di pavimenti, pavimenti galleggianti, rivestimenti di canne fumarie e coibentazioni di impianti di climatizzazione e condizionamento.

Le buone prestazioni di abbattimento acustico e di resistività termica ne ampliano ulteriormente le possibilità applicative, unendo in un solo prodotto i più alti parametri di ecologicità, biocompatibilità, coibentazione, sicurezza al fuoco ed all'acqua, fornendo nel contempo ampie possibilità di finitura superficiale e di design. I pannelli sono disponibili in spessori variabili dai 0,3 ai 3,8 cm in formato da 305 x 125 cm e hanno una conducibilità termica dichiarata di 0,216 W/mK.<sup>8</sup>

Nel nostro studio dei pacchetti costruttivi, il pannello Megapan è utilizzato in abbinamento con il

<sup>7</sup> [www.fermacell.it](http://www.fermacell.it)

<sup>8</sup> [www.equilibrium-bioedilizia.it](http://www.equilibrium-bioedilizia.it)



Fig. 4.15 Isolamento termico con pannelli flessibili in fibra di canapa



Fig. 4.16 Pannello in fibra di legno ad elevata densità  $>250 \text{ kg/m}^3$



Fig. 4.17 Pannello anticalpestio in fibra di legno

calcecanapulo, con il sistema ipotizzato da Equilibrium, nella realizzazione di pareti di tamponamento con il sistema di riempimento verticale con l'impiego della miscela 1:1 in calcecanapulo, come è già illustrato in dettaglio nel capitolo 3 delle tecniche costruttive.

#### 4.2.3 PANNELLI E INTONACI ISOLANTI

##### 4.2.3.1 Pannelli in fibra di legno e in fibra di canapa

I pannelli in fibra di legno sono degli isolanti termici e acustici che vengono generalmente prodotti attraverso la lavorazione di scarti di legno. Nel caso dei pannelli Steico, questi sono il risultato della lavorazione di residui di legname di conifere e latifoglie non trattati chimicamente.

Questi pannelli vengono utilizzati per l'isolamento termico e acustico in cappotti interni ed esterni ventilati, intercapedini di strutture in legno, coperture in legno, solai e sottopavimenti a secco per pavimenti di tutti i tipi. Essi sono permeabili al vapore e respirano, contribuendo a risanare l'ambiente e il clima interno dell'habitat. L'umidità assorbita penetra all'interno della fibra stessa e lo spazio tra le fibre, responsabile della porosità del materiale, rimane pieno d'aria. Questo fa sì che il suo potere isolante non diminuisca, al contrario dei materiali fibrosi di origine minerale (fibra di vetro o di roccia) le cui fibre non sono in grado di assorbire l'umidità al loro interno.

I pannelli sono di facile utilizzo, non provocano reazioni cutanee e sono molto resistenti nel tempo.

La Steico ha ottenuto la certificazione FSC (Forest Stewardship Council) per tutta la gamma dei suoi prodotti in fibra di legno. Successivamente i prodotti Steico hanno ottenuto anche il marchio di qualità bioecologica europeo Natureplus®.

Steico presenta una gamma di prodotti in fibra di legno con densità variabile (da  $50$  a  $270 \text{ kg/m}^3$ ) e con molteplici spessori, che consentono l'impiego di tali prodotti in diverse strutture dell'edificio. La conducibilità termica varia da  $0,038$  a  $0,05 \text{ W/mK}$ .

Altro pannello isolante con ottime prestazioni è quello in fibra di canapa, che grazie al basso impatto della coltivazione della canapa ha un bilancio ecologico molto vantaggioso. Inoltre gode delle proprietà igrometriche della canapa, ampiamente descritte nel Capitolo 1. Il pannello Naturtherm CA. della Manifattura Maiano, con una conduttività di  $0,038 \text{ W/mK}$  per una densità di  $50 \text{ kg/m}^3$  è composto per oltre il 90% da fibre di canapa ed ha un calore specifico superiore alle lane minerali ( $c=1700 \text{ J/kgK}$ )

favoriedno quindi il raffrescamento estivo degli edifici.

Per quanto riguarda l'utilizzo dei pannelli in fibra di legno Steico nella realizzazione degli abachi dei particolari costruttivi sono previste diverse applicazioni:

- isolamento termico ed acustico per le chiusure orizzontali e le partizioni interne orizzontali, in abbinamento con i massetti in getto in calcecanapulo 1:2,75 (che ha proprietà isolante minore rispetto ad altre miscele in calcecanapulo)
- pannelli isolanti ad alta densità per i sistemi di riempimento delle chiusure superiori orizzontali con calcecanapulo 1:1
- pannelli anticalpestio per i sistemi di riempimento delle partizioni interne orizzontali

I pannelli in fibra di canapa vengono invece impiegati:

- per chiusure verticali realizzate in blocchi prefabbricati di calcecanapulo dove occorre il miglioramento dell'isolamento termico senza l'aumento dello spessore della struttura.

#### **4.2.3.2 Il termointonaco di calce Termotec**

Il termointonaco di calce Termotec è un intonaco premiscelato biocompatibile ad azione termoisolante, fonoassorbente che viene utilizzato per la formazione di cappotti esterni o rivestimenti coibentanti interni di murature. E' composto esclusivamente da materiali d'origine minerale o vegetale tra quali granulato di sughero biondo, riolite, vetro espanso, minerali reattivi (microsilice e metacaolini), legante costituito da calce idraulica naturale, fibre vegetali quale armatura, additivi d'origine naturale che ne facilitano l'applicazione ed il lento indurimento dopo la posa. Il prodotto presenta un elevato potere di isolamento termico ed un buon isolamento acustico, possiede una notevole capacità di traspirazione nei confronti di

gas e vapore acqueo, il che previene ogni forma di condensa e di tassi eccessivi di umidità nelle murature. Grazie alla loro struttura porosa a celle compenetranti ed al sughero con cui sono costituiti, i termointonaci Termotec sono in grado anche di garantire una discreta attenuazione dei rumori.

Si tratta di un intonaco "a ritiro compensato", caratteristica che gli conferisce la capacità di non presentare mai crepe, anche in corrispondenza di supporti sottostanti di diversa natura; può essere applicato facilmente con mani di notevole spessore. La densità a secco è di 395 kg/m<sup>3</sup> e la conduttività termica è di 0,050 W/mK (calcolata secondo la normativa ASTM).<sup>9</sup>

Nell'elaborazione dei pacchetti costruttivi l'utilizzo del termointonaco Termotec è previsto per i pacchetti di recupero delle chiusure verticali sia come cappotto interno che esterno; viene abbinato con le contropareti in blocchi prefabbricati o in getto di calcecanapulo 1:2,2 quando tali materiali non sono in grado di soddisfare i requisiti della trasmittanza termica (in quanto la controparete in calcecanapulo non può superare lo spessore di 20 cm).

#### **4.2.4 MEMBRANE ANTIPOLVERE E CARTE ATIPOLVERE E ANTIVENTO**

##### **4.2.4.1 La membrana Ecofil**

Ecofil è un manto impermeabile ad alta traspirabilità composto da un foglio di poliolefine flessibili con struttura a micropori di spessore 0,5 mm, alla quale è stato accoppiato su entrambe le facce un velo di polipropilene, il tutto allo scopo di migliorare le caratteristiche del manto: maggiore impermeabilità, resistenza meccanica superiore e una superficie antisdrucchiolo. La membrana Ecofil è un prodotto con

la stessa materia prima ecologica a base di poliolefine flessibili. La connessione dei teli, i raccordi ed i risvolti vengono sigillati con gli appositi nastri a base di caucciù butilico. La finitura antidrucciolo del manto consente una maggiore sicurezza per le maestranze di posa. Ecofil permette di realizzare ottime impermeabilizzazioni di coperture a falda con posa semplice e veloce e presenta un avanzato profilo ecologico.

#### **4.2.4.2 La carta Kraft**

Nel caso di impiego di fibre vegetali, l'impasto di cellulosa utilizzato proviene da conifere, piante a fibra lunga, più adatta ad offrire caratteristiche di resistenza al prodotto finito, o da piante annuali quali la paglia di grano o di riso, le canne, la canapa ed il lino, anch'esse di fibra tenace. Le fibre vengono poi sottoposte ad un attacco di sostanze minerali, che concorrono a conferire le caratteristiche richieste al foglio di carta.

Per le sue caratteristiche di ottima resistenza e traspirabilità, ma di scarsa impermeabilità, la carta Kraft è un ottimo materiale da impiegare come guaina antivento ed antipolvere all'interno delle costruzioni.

#### **4.2.4.3 La carta Oleata**

La carta oleata è una carta Kraft di pura cellulosa o in fibre riciclate di cellulosa, non dorata, impregnata con olio di vasellina al fine di renderla idrorepellente e darle la funzione di leggero freno al vapore (ma non è una vera e propria barriera all'acqua).

Si ottiene sottoponendo ad un processo di oleazione la normale carta Kraft.

La vasellina è un prodotto inodore e atossico che rende la carta idrorepellente ed imputrescibile, pur conservando le sue caratteristiche traspiranti.

La carta oleata è composta da fibre totalmente riciclabili, non clorurate, prive di insetticidi e fungicidi tossici, completamente biodegradabili e compostabili. E' idrorepellente, ma permeabile al vapore.

### **4.3. LO SCHEMA GENERALE DEGLI ABACHI COSTRUTTIVI**

Lo schema generale per la classificazione degli abachi costruttivi presenta gli attuali possibili campi d'impiego in calcecanapulo, tuttavia, la sua struttura prende in considerazione un futuro sviluppo nell'ambito delle tecniche costruttive con tale materiale innovativo e pertanto permette le eventuali integrazioni o modifiche di essa. La classificazione si basa sul criterio di funzionalità ovvero in base alla modalità di produzione, funzionamento e uso del sistema tecnologico.<sup>10</sup>

Lo schema generale prevede la divisione di quattro livelli principali:

- tipo di intervento (nuova costruzione o recupero)
- classi di unità tecnologiche (chiusure o partizioni)
- unità tecnologica (orizzontale o verticale)
- tecnica costruttiva impiegata (elementi prefabbricati, getto o riempimento)

#### **4.3.1 TIPI DI INTERVENTO (PRIMO LIVELLO)**

Il primo livello prevede la divisione di due tipi di intervento:

- interventi di nuova costruzione
- interventi di recupero

Tale divisione è fondamentale per quanto riguarda la costruzione degli abachi costruttivi, non solo per

---

<sup>10</sup> In riferimento alla Norma UNI8290-1:1981 Edilizia residenziale. Sistema tecnologico. Classificazione e terminologia.

le differenze nelle tecniche costruttive impiegate in queste due categorie ma anche, come già anticipato nel paragrafo 4.1, in quanto le due classi soddisfano diversi requisiti della trasmittanza termica U:

- i valori U ricavati per i **pacchetti costruttivi della nuova costruzione rientrano nei parametri previsti per il 14 Marzo 2010 con il D.M. del 26 Gennaio 2010, della zona climatica F così da poter godere degli incentivi fiscali del 55%**
- i valori U dei **pacchetti costruttivi degli interventi di recupero rientrano nei parametri previsti per l'1 Gennaio 2010, zona climatica F, dal Decreto Legislativo 311.**

La scelta di differenziare i valori di confronto fra i due tipi di intervento è dovuta al fatto che per arrivare ai parametri previsti per poter ricevere gli incentivi fiscali del 55% negli interventi di recupero con il calcecanapulo occorre la realizzazione di pacchetti con uno spessore eccessivamente elevato che a volte non permettono tecnicamente una buona asciugatura del calcecanapulo o richiedono spazi non disponibili.<sup>11</sup>

#### **4.3.2 CLASSI DI UNITA' TECNOLOGICHE (SECONDO LIVELLO)**

Il secondo livello dello schema fa riferimento alla **Norma UNI8290-1:1981 Edilizia residenziale, sistema tecnologico, classificazione e terminologia** che scompone il sistema tecnologico del fabbricato residenziale in tre insiemi: classi di unità tecnologiche, unità tecnologiche e classi di elementi tecnici. In riferimento al primo insieme della norma UNI8290, il nostro schema suddivide ogni tipo di intervento (la nuova costruzione e il recupero) in due classi di unità tecnologiche:

- le chiusure (indicate con codice **A** per le nuove costruzioni e con codice **A'** per il recupero)
- le partizioni interne (indicate con codice **B** per le nuove costruzioni e con codice **B'** per il recupero)

#### **4.3.3 UNITA' TECNOLOGICHE (TERZO LIVELLO)**

Il terzo livello prende sempre in considerazione la scomposizione presente nella norma UNI8290-1:1981 (in corrispondenza al secondo insieme della Norma- unità tecnologiche) e suddivide ciascuna classe di unità tecnologica nelle seguenti cinque unità:

- chiusure verticali ovvero, pareti perimetrali verticali (codice **A1**)
- chiusure inferiori orizzontali ovvero, solai a terra (codice **A2**)
- chiusure superiori orizzontali ovvero, coperture (codice **A3**)
- partizioni interne verticali ovvero, pareti interne verticali (codice **B1**)
- partizioni interne orizzontali ovvero, solai (codice **B2**)

Per i pacchetti costruttivi degli interventi di recupero vengono indicati i seguenti codici rispettivamente **A'1, A'2, A'3, B'1, B'2**.

Negli seguenti abachi, le partizioni interne verticali e orizzontali (indicate con codice **B1** e **B2** rispettivamente) sono considerati come dei divisori tra un ambiente chiuso riscaldato e uno non riscaldato in modo da poterne verificare le prestazioni isolanti, calcolandone la trasmittanza termica.

#### **4.3.4 TECNICA COSTRUTTIVA IMPIEGATA (QUARTO LIVELLO)**

Dalle indicazioni e descrizioni delle diverse metodologie di applicazione del calcecanapulo estratte dalla documentazione raccolta, le tecniche costruttive sono divise in 3 categorie principali che suddividono

---

*11 In particolare nel caso del massetto a getto su superfici orizzontali o inclinati in cui viene impiegato un impasto di calcecanapulo 1:2,75 che presenta una minore capacità isolante rispetto ad altri impasti.*

ciascun'unità tecnologica<sup>12</sup>:

- la tecnica costruttiva in elementi prefabbricati (codice **a**)
- la tecnica costruttiva a getto<sup>13</sup> (codice **b**)
- la tecnica costruttiva di riempimento (codice **c**)

In seguito, ogni categoria si scompone in sottocategorie relative alla tecnica costruttiva in questione e viene aggiunta al codice una lettera seguendo la cronologia alfabetica (ad esempio: **aa,ab,ac...** e così via).

#### **4.4. SCHEDE DELLE STRATIGRAFIE COSTRUTTIVE**

Ogni scheda è strutturata in modo tale che ad ogni disegno di dettaglio corrisponde una tabella in cui viene riportato ogni strato del pacchetto ed i relativi spessori espressi in millimetri; la relativa massa volumica in kg/m<sup>3</sup>; il relativo coefficiente di conduttività termica  $\lambda$  espresso in W/mK; il relativo fattore di resistenza alla diffusione del vapore  $\mu$ ; la relativa resistenza termica R espressa in m<sup>2</sup>K/W calcolata eseguendo il rapporto tra lo spessore relativo e il  $\lambda$  relativo. Il reciproco della somma delle resistenze termiche costituisce poi il valore della trasmittanza termica U dell'intero pacchetto murario, espresso in W/m<sup>2</sup>K. In ogni scheda vengono indicati i valori limite della trasmittanza termica U (espressi in W/m<sup>2</sup>K) relativi alla classificazione dell'unità tecnologica (vedi tabella 4.1). Inoltre vengono indicati i valori della massa superficiale totale del pacchetto (in kg/m<sup>2</sup>) e il coefficiente di sfasamento  $\Phi$ .

---

*12 E' possibile che alcune unità tecnologiche non presentino tutte e tre categorie di tecniche costruttive.*

*13 Tale categoria prevede sia i pacchetti realizzati con la tecnica a getto manuale che quelli costruiti con l'applicazione a spruzzo, prendendo in riferimento la miscela Tradical 70® Chanvribat® suggerita dalle "Règles professionnelles d'exécution".*

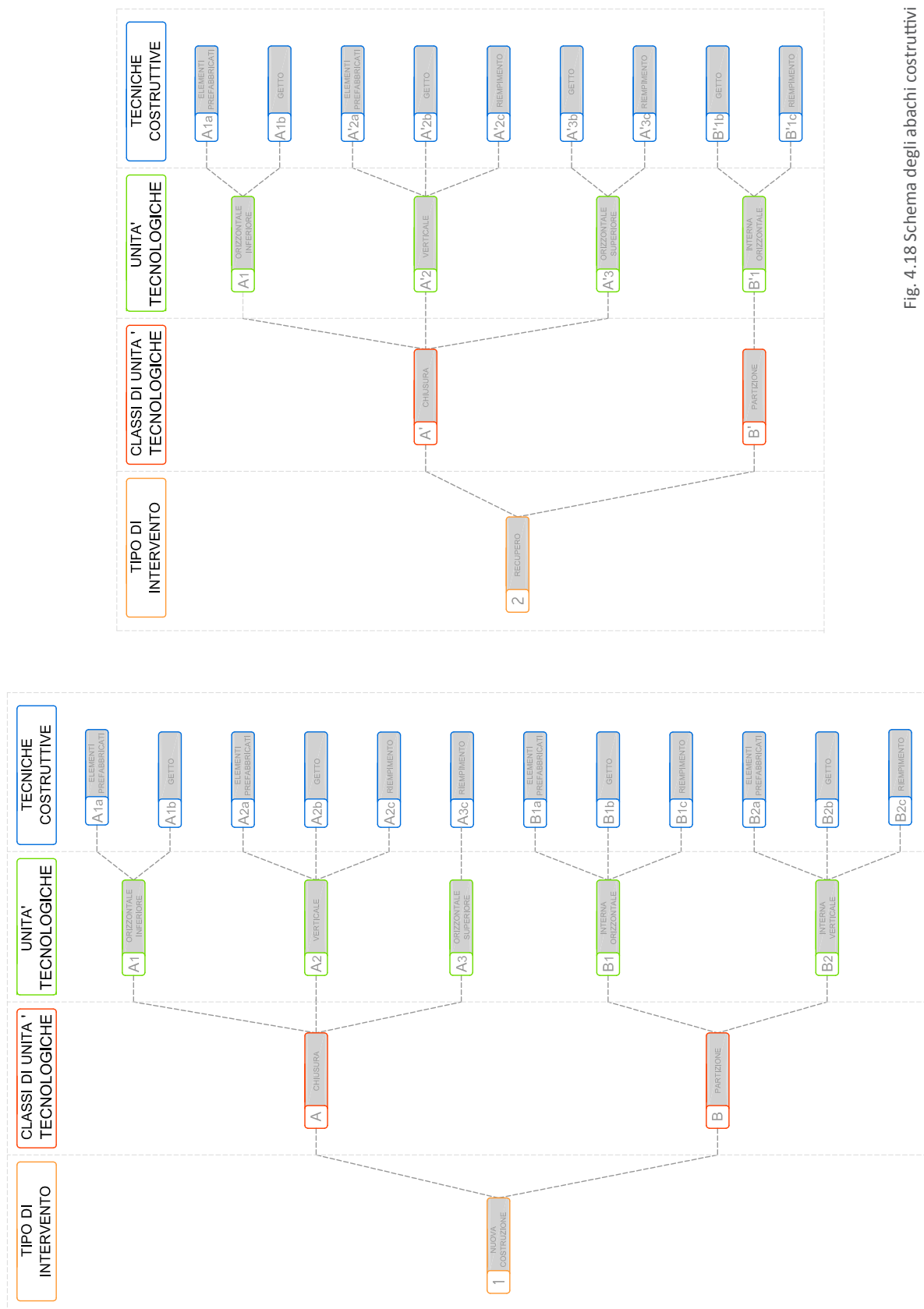
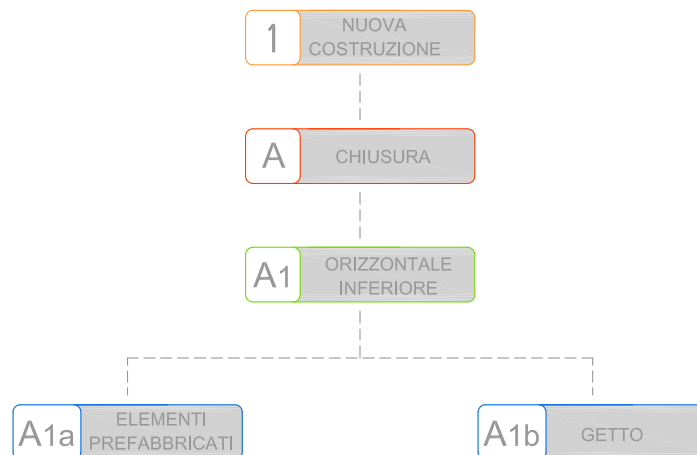


Fig. 4.18 Schema degli abachi costruttivi

#### 4.4.1 NUOVA COSTRUZIONE

##### 4.4.1.1 CHIUSURA ORIZZONTALE INFERIORE



Tutti i pacchetti costruttivi di solai controterra per i nuovi interventi (**A1**) prevedono la presenza di un vespaio areato realizzato con igloo (esso può essere realizzato anche con il sistema di muriccioli e tavelloni). Il vespaio fornisce un sistema di ventilazione del sottofondo come richiesto dai Regolamenti Edilizi Italiani, sul quale viene gettata una cappa di 5 cm in calce idraulica naturale e sabbia con armatura in bambù.

Il gruppo di pacchetti costruttivi **A1a**, presenta diverse soluzioni per la realizzazione di solai contro terra con l'utilizzo di blocchi prefabbricati Equilibrium (0,07 W/mK), di vari spessori, posati a secco.

I quattro particolari con il codice **A1b** prevedono la realizzazione del massetto in getto in calcecanapulo 1;2,75 ( $\lambda = 0,11$  W/mK,  $\rho = 500$  kg/m<sup>3</sup>), con spessore di 25 centimetri, dentro il quale è prevista la posa delle tubazioni relative all'impianto idrico ed elettrico. Sopra al massetto viene posizionato un pannello isolante in fibra di legno di tipo Steico Universal (0,048 W/mK) da 4-5 centimetri, il cui utilizzo risulta necessario al fine di evitare spessori eccessivamente elevati.



Il pacchetto A1a1, con spessore di 37,5 centimetri, prevede l'utilizzo di blocchi Equilibrium di 25 cm di spessore per la realizzazione della soletta sulla quale viene installato l'impianto di riscaldamento a pavimento annegato nel massetto di calce e sabbia (di 6 centimetri). Lo strato di pavimentazione viene realizzato con le piastrelle in ceramica che vengono fissate con uno strato di boiaccia di calce con 0,5 cm di spessore. Il pacchetto raggiunge così un valore di trasmittanza di 0,25 W/m<sup>2</sup>K. Va tuttavia evidenziato che con l'utilizzo di un blocco Equilibrium di spessore ridotto, 20 cm (e quindi spessore totale di 32,5 cm per il pacchetto), si ottiene una trasmittanza termica di 0,31 W/m<sup>2</sup>K, un valore che rientra comunque nei parametri previsti dal 1 Gennaio 2010 per le chiusure orizzontali inferiori.

La soluzione A1a2, di 40 centimetri, prevede la stessa stratigrafia ma presenta una pavimentazione realizzata in parquet su magatelli annegati nel massetto di calce e sabbia, contenete l'impianto di riscaldamento a pavimento. Il valore totale della trasmittanza termica migliora rispetto alla soluzione precedente A1a1 e raggiunge 0,25 W/m<sup>2</sup>K; anche in questo caso l'utilizzo di un blocco Equilibrium di spessore ridotto, 20cm, porta a un valore di trasmittanza termica che soddisfa i requisiti previsti dal 1 Gennaio 2010 (0,30 W/m<sup>2</sup>K).

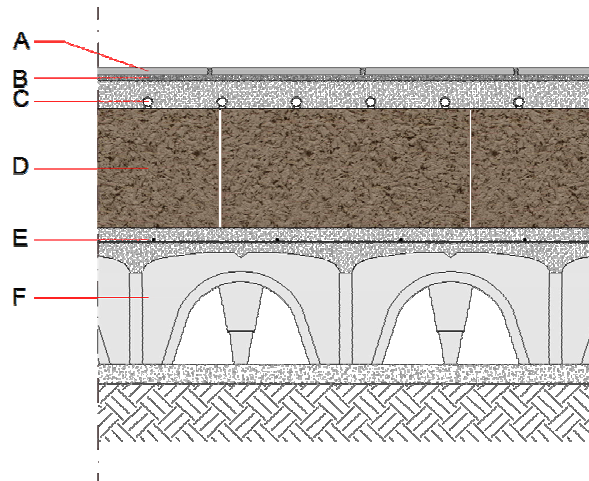
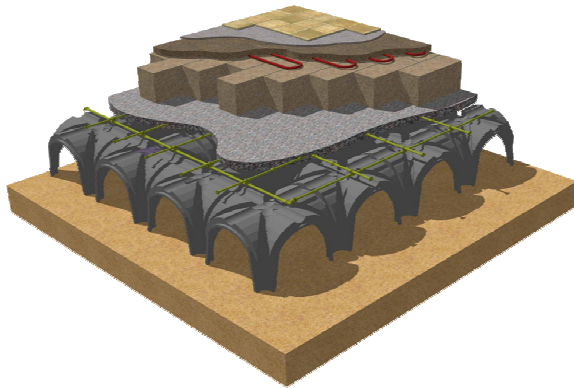
Il particolare A1a3 con spessore di 33 cm (spessore ridotto rispetto alle due soluzioni precedenti) prende in considerazione una soluzione costruttiva messa a punto dall'azienda francese Easyvhanvre che prevede la realizzazione di un massetto composto da due strati di blocchi in calcecanapulo alternati, spessi 12 cm (e quindi totale di 24 cm) con una pavimentazione simile a quella presente nel pacchetto A1a1 con piastrelle ceramiche sopra uno strato di boiaccia di calce con 0,5 cm di spessore. Il pacchetto raggiunge una trasmittanza termica di 0,26 W/m<sup>2</sup>K.

## NUOVA COSTRUZIONE

### A1a1

### CHIUSURA ORIZZONTALE INFERIORE

BLOCCHI CON RISCALDAMENTO A PAVIMENTO E PAVIMENTAZIONE IN PIASTRELLE



#### Caratteristiche termiche e igrometriche dei componenti

Dall'interno verso l'esterno

	Descrizione strato	s [mm]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\lambda$ [W/mK]	C [kcal/kg]	$\mu$	R [m <sup>2</sup> *K/W]
	Resistenza interna						0,17
A	piastrelle in ceramica	10	2300	1	0,2	200	0,01
B	boiaccia di calce	5	1450	0,49	0,25	7,5	0,01
C	massetto di calce e sabbia con riscaldamento a pavimento	60	1400	0,76	0,25	0,1	0,08
D	blocchi in calcecanapulo 250x200x500 mm *	250	300	0,07	0,4	4,5	3,57
E	calce e sabbia e armatura in bambù	50	1400	0,76	0,4	4,5	0,07
F	vespaio areato con igloo (o con muriccioli e tavelloni)	150					
	Resistenza esterna						0,04
Totale		Spessore [mm] =	375	Resistenza [m <sup>2</sup> *K/W] =			3,95


$$1/R \text{ totale [W/m}^2\text{*K]} = \text{Trasmittanza U} = 0,25$$

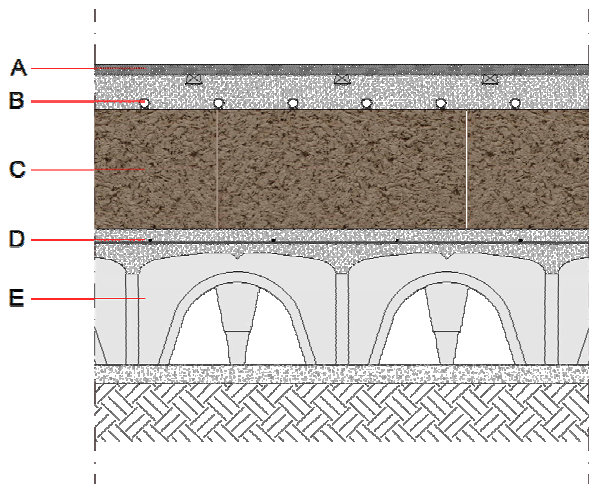
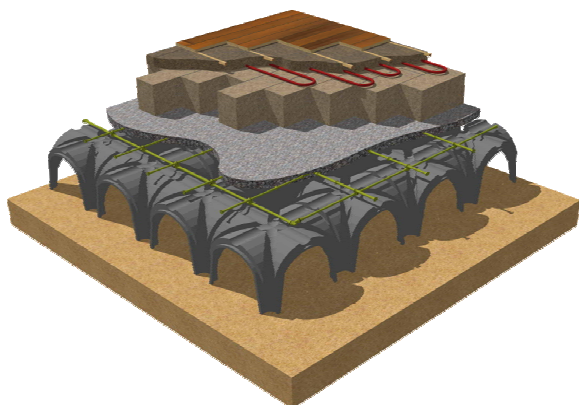
Massa superficiale m [kg/m <sup>2</sup> ]	259,25
Coefficiente di sfasamento $\Phi$	19h22'

Trasmittanza massima	dal 1/1/2010	0,32
	per le detrazioni del 55% dal 26/1/2010	0,28

\* Blocco di tipo Equilibrium

# NUOVA COSTRUZIONE

<b>A1a2</b>	<b>CHIUSURA ORIZZONTALE INFERIORE</b> BLOCCHI CON RISCALDAMENTO A PAVIMENTO E PAVIMENTAZIONE IN PARQUET	
-------------	--	---



Caratteristiche termiche e igrometriche dei componenti  
 Dall'interno verso l'esterno

	Descrizione strato	s [mm]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\lambda$ [W/mK]	C [kcal/kg]	$\mu$	R [m <sup>2</sup> *K/W]
	Resistenza interna						0,17
A	parquet in rovere inchiodato	20	800	0,17	0,65	43	0,12
B	massetto di calce e sabbia con riscaldamento a pavimento	80	1400	0,76	0,25	0,1	0,11
C	blocchi in calcecanapulo 250x200x500 mm *	250	300	0,07	0,4	4,5	3,57
D	calce e sabbia e armatura in bambù	50	1400	0,76	0,4	4,5	0,07
E	vespaio areato con igloo (o con muriccioli e tavelloni)	150					
	Resistenza esterna						0,04
Totale		<b>Spessore [mm] = 400</b>					<b>Resistenza [m<sup>2</sup>*K/W] = 4,07</b>

<b>1/ R totale [W/m2*K] = Trasmittanza U = 0,25</b>
---

<b>Massa superficiale m [kg/m<sup>2</sup>]</b>	<b>273,00</b>
<b>Coefficiente di sfasamento <math>\Phi</math></b>	<b>18h28'</b>

<b>Trasmittanza massima</b>	dal 1/1/2010	0,32
	per le detrazioni del 55% dal 26/1/2010	0,28

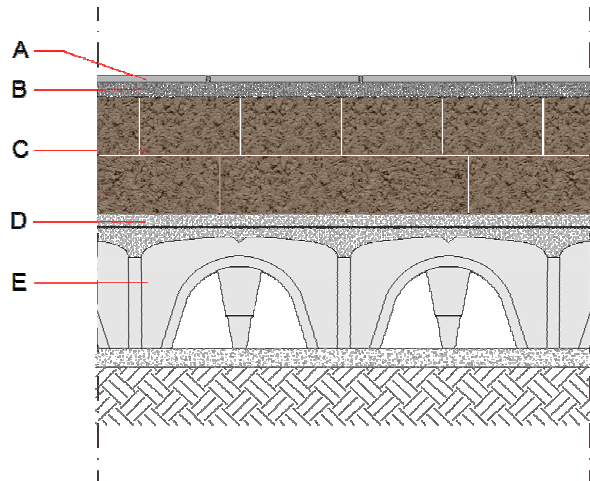
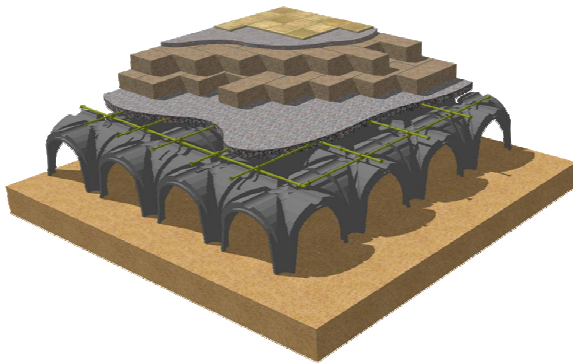
\* Blocco di tipo Equilibrium

## NUOVA COSTRUZIONE

### A1a3

### CHIUSURA ORIZZONTALE INFERIORE

BLOCCHI DI SISTEMA COSTRUTTIVO PREFABBRICATO (TIPO EASYCHANVRE) CON PAVIMENTAZIONE IN PIASTRELLE



#### Caratteristiche termiche e igrometriche dei componenti

Dall'interno verso l'esterno

	Descrizione strato	s [mm]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\lambda$ [W/mK]	C [kcal/kg]	$\mu$	R [m <sup>2</sup> *K/W]
	Resistenza interna						0,17
A	piastrelle in ceramica	10	2300	1	0,2	200	0,01
B	boiaccia di calce	30	1450	0,49	0,25	7,5	0,06
C	2 strati di blocchi in calcecanapulo 120x200x500 mm *	240	300	0,07	0,4	4,5	3,43
D	calce e sabbia e armatura in bambù	50	1400	0,76	0,4	4,5	0,07
E	vespaio areato con igloo (o con muriccioli e tavelloni)	150					
	Resistenza esterna						0,04
Totale		<b>Spessore [mm] = 330</b>					<b>Resistenza [m<sup>2</sup>*K/W] = 3,78</b>

**1/ R totale [W/m<sup>2</sup>\*K] = Trasmittanza U = 0,26**

Massa superficiale m [kg/m <sup>2</sup> ]	<b>208,50</b>
Coefficiente di sfasamento $\Phi$	<b>16h26'</b>

Trasmittanza massima	dal 1/1/2010	0,32
	per le detrazioni del 55% dal 26/1/2010	0,28

\* Blocco di tipo Equilibrium

Il pacchetto A1b1 che presenta uno spessore di 42,5 cm prevede la posa di uno strato protettivo in carta oleata sopra il pannello isolante da 5 cm (Steico) sul quale viene posizionato l'impianto di riscaldamento a pavimento, ricoperto da un massetto di calce e sabbia da 6 centimetri. La pavimentazione è realizzata in piastrelle ceramiche fissate con una malta di calce (0,5 cm). La trasmittanza calcolata sulla struttura è di 0,27 W/m<sup>2</sup>K.

La stratigrafia A1b2 è un variante della stratigrafia precedente (A1b1) in quanto presenta la stessa stratigrafia ma è priva dell'impianto di riscaldamento a pavimento e quindi ha uno spessore inferiore, di 40 cm. Essa raggiunge comunque un valore U di trasmittanza pari a 0,27 W/m<sup>2</sup>K.

Il dettaglio A1b3 con spessore di 45 cm e trasmittanza termica di 0,26 W/m<sup>2</sup>K, ipotizza una soluzione con un massetto di calce e sabbia con riscaldamento a pavimento da 8 cm posizionato sopra un pannello isolante Steico da 4 centimetri (con uno spessore di 4 cm si raggiunge un valore U di 0,28 W/m<sup>2</sup>K), ricoperto da carta oleata, e una pavimentazione in parquet fissata a un sistema di magatelli annegati nel massetto.

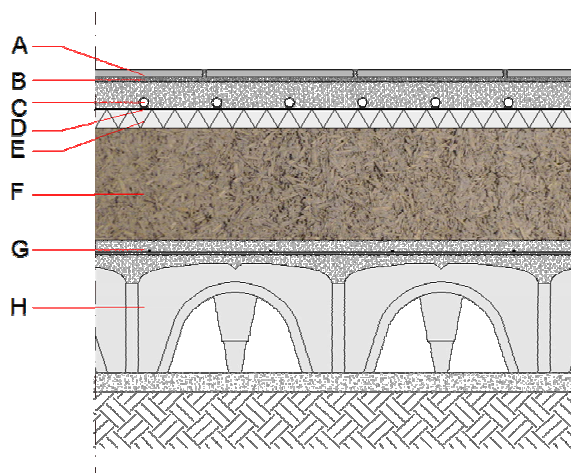
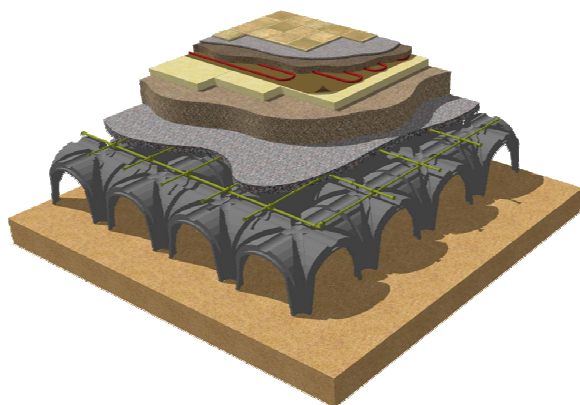
Il pacchetto A1b4 da 38 centimetri è privo di riscaldamento a pavimento e presenta la realizzazione di una pavimentazione a secco appoggiata direttamente sul pannello isolante costituita da due strati di pannelli di gessofibra tipo Fermacell (0,32 W/m<sup>2</sup>K) con uno spessore di 1 cm, ai quali viene fissato il parquet da 0,22 cm (sistema Tolin). Il valore di trasmittanza raggiunge gli 0,26 W/m<sup>2</sup>K.

## NUOVA COSTRUZIONE

### A1b1

### CHIUSURA ORIZZONTALE INFERIORE

GETTO CON RISCALDAMENTO A PAVIMENTO E PAVIMENTAZIONE IN PIASTRELLE



Caratteristiche termiche e igrometriche dei componenti  
Dall'interno verso l'esterno

	Descrizione strato	s [mm]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\lambda$ [W/mK]	C [kcal/kg]	$\mu$	R [m <sup>2</sup> *K/W]
	Resistenza interna						0,17
A	piastrelle in ceramica	10	2300	1	0,2	200	0,01
B	boiaccia di calce	5	1450	0,49	0,25	7,5	0,01
C	massetto di calce e sabbia con riscaldamento a pavimento	60	1400	0,76	0,25	0,1	0,08
D	freno al vapore in carta oleata						
E	pannello isolante in fibra di legno (tipo Steico Universal)	50	270	0,048	0,51	5	1,04
F	massetto in calcecanapulo 1:2,75 *	250	500	0,11	0,37	4,8	2,27
G	calce e sabbia e armatura in bambù	50	1400	0,76	0,4	4,5	0,07
H	vespaio areato con igloo (o con muriccioli e tavelloni)	150					
	Resistenza esterna						0,04
Totale		<b>Spessore [mm] =</b>	<b>425</b>	<b>Resistenza [m<sup>2</sup>*K/W] =</b>			<b>3,69</b>

$$1/R \text{ totale [W/m}^2\text{*K]} = \text{Trasmittanza U} = \mathbf{0,27}$$

Massa superficiale m [kg/m <sup>2</sup> ]	<b>322,75</b>
Coefficiente di sfasamento $\Phi$	<b>23h'</b>

Trasmittanza massima	dal 1/1/2010	0,32
	per le detrazioni del 55% dal 26/1/2010	0,28

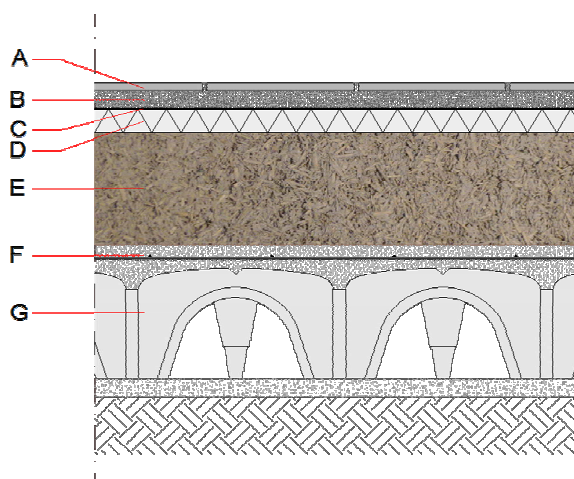
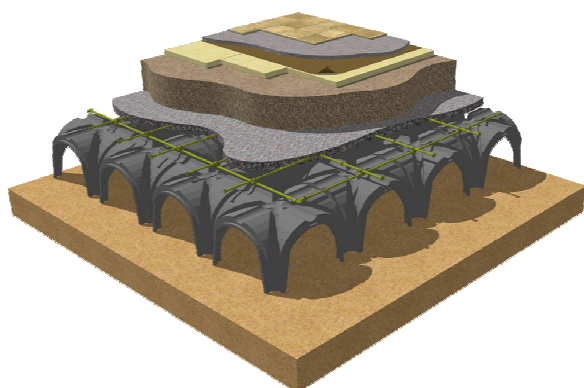
\* Miscela Tradical 70® Chanvribat®

## NUOVA COSTRUZIONE

### A1b2

### CHIUSURA ORIZZONTALE INFERIORE

GETTO CON PAVIMENTAZIONE IN PIASTRELLE



Caratteristiche termiche e igrometriche dei componenti  
Dall'interno verso l'esterno

	Descrizione strato	s [mm]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\lambda$ [W/mK]	C [kcal/kg]	$\mu$	R [m <sup>2</sup> *K/W]
	Resistenza interna						0,17
A	piastrelle in ceramica	10	2300	1	0,2	200	0,01
B	boiaccia di calce	40	1450	0,49	0,25	7,5	0,08
C	freno al vapore in carta oleata						
D	pannello isolante in fibra di legno (tipo Steico Universal)	50	270	0,048	0,51	5	1,04
E	massetto in calcecanapulo 1:2,75 *	250	500	0,11	0,37	4,8	2,27
F	calce e sabbia con armatura in bamboo	50	1400	0,76	0,4	4,5	0,07
G	vespaio areato con igloo (o con muriccioli e tavelloni)	150					
	Resistenza esterna						0,04
Totale		Spessore [mm] =	400	Resistenza [m <sup>2</sup> *K/W] =			3,68

$$1/R \text{ totale [W/m}^2\text{*K]} = \text{Trasmittanza U} = 0,27$$

Massa superficiale m [kg/m <sup>2</sup> ]	289,50
Coefficiente di sfasamento $\Phi$	21h26'

Trasmittanza massima	dal 1/1/2010	0,32
	per le detrazioni del 55% dal 26/1/2010	0,28

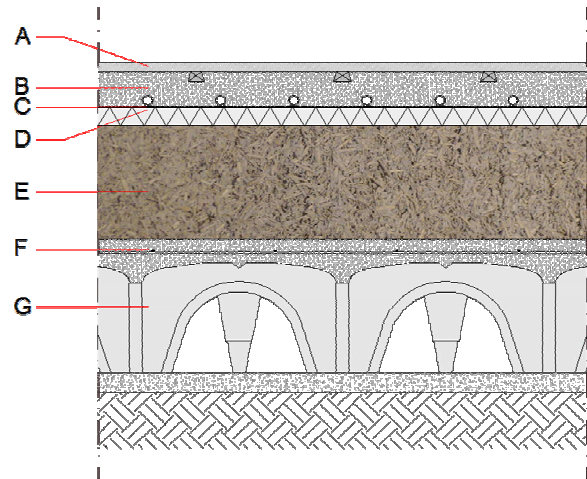
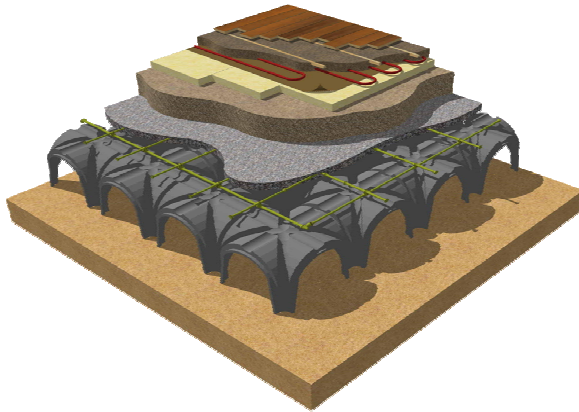
\* Miscela Tradical 70® Chanvribat®

## NUOVA COSTRUZIONE

### A1b3

### CHIUSURA ORIZZONTALE INFERIORE

GETTO CON RISCALDAMENTO A PAVIMENTO E PAVIMENTAZIONE IN PARQUET



Caratteristiche termiche e igrometriche dei componenti  
Dall'interno verso l'esterno

	Descrizione strato	s [mm]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\lambda$ [W/mK]	C [kcal/kg]	$\mu$	R [m <sup>2</sup> *K/W]
	Resistenza interna						0,17
A	parquet in rovere inchiodato	20	800	0,17	0,65	43	0,12
B	massetto di calce e sabbia con riscaldamento a pavimento	80	1400	0,76	0,25	0,1	0,11
C	freno al vapore in carta oleata						
D	pannello isolante in fibra di legno (tipo Steico Universal)	40	270	0,048	0,51	5	0,83
E	massetto in calcecanapulo 1:2,75 *	250	500	0,11	0,37	4,8	2,27
F	calce e sabbia e armatura in bambù	50	1400	0,76	0,4	4,5	0,07
G	vespaio areato con igloo (o con muriccioli e tavelloni)	150					
	Resistenza esterna						0,04
Totale		<b>Spessore [mm] = 440</b>					<b>Resistenza [m<sup>2</sup>*K/W] = 3,60</b>

$$1/R \text{ totale [W/m}^2\text{*K]} = \text{Trasmittanza U} = \mathbf{0,28}$$

Massa superficiale m [kg/m <sup>2</sup> ]	<b>333,80</b>
Coefficiente di sfasamento $\Phi$	<b>20h16'</b>

Trasmittanza massima	dal 1/1/2010	0,32
	per le detrazioni del 55% dal 26/1/2010	0,28

\* Miscela Tradical 70® Chanvribat®

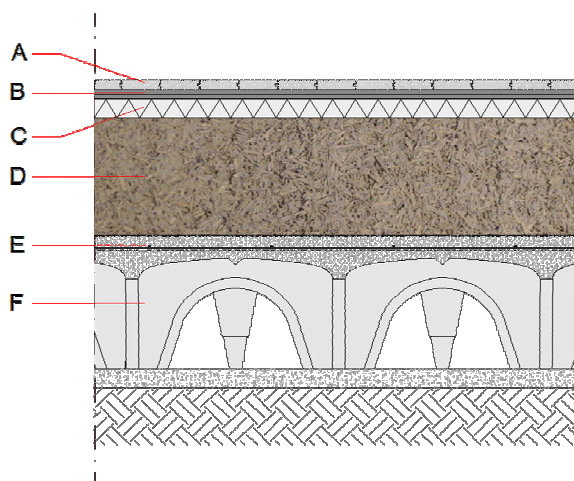
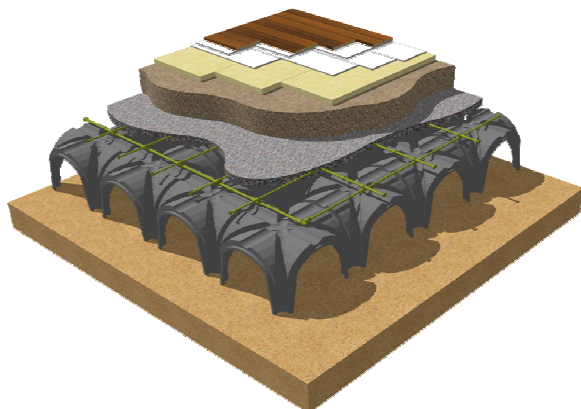


## NUOVA COSTRUZIONE

### A1b4

### CHIUSURA ORIZZONTALE INFERIORE

GETTO CON PAVIMENTAZIONE IN PARQUET



Caratteristiche termiche e igrometriche dei componenti  
Dall'interno verso l'esterno

	Descrizione strato	s [mm]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\lambda$ [W/mK]	C [kcal/kg]	$\mu$	R [m <sup>2</sup> *K/W]
	Resistenza interna						0,17
A	parquet in rovere inchiodato	22	800	0,17	0,65	43	0,13
B	2 pannelli in gessofibra (tipo Fermacell)	20	900	0,32	0,262	4,5	0,06
C	pannello isolante in fibra di legno (tipo Steico Therm)	40	160	0,046	0,502	5	0,87
D	massetto in calcecanapulo 1:2,75 *	250	500	0,11	0,37	4,8	2,27
E	calce e sabbia e armatura in bambù	50	1400	0,76	0,4	4,5	0,07
F	vespaio areato con igloo (o con muriccioli e tavelloni)	150					
	Resistenza esterna						0,04
Totale Spessore [mm] =		<b>382</b>	Resistenza [m <sup>2</sup> *K/W] =				<b>3,61</b>

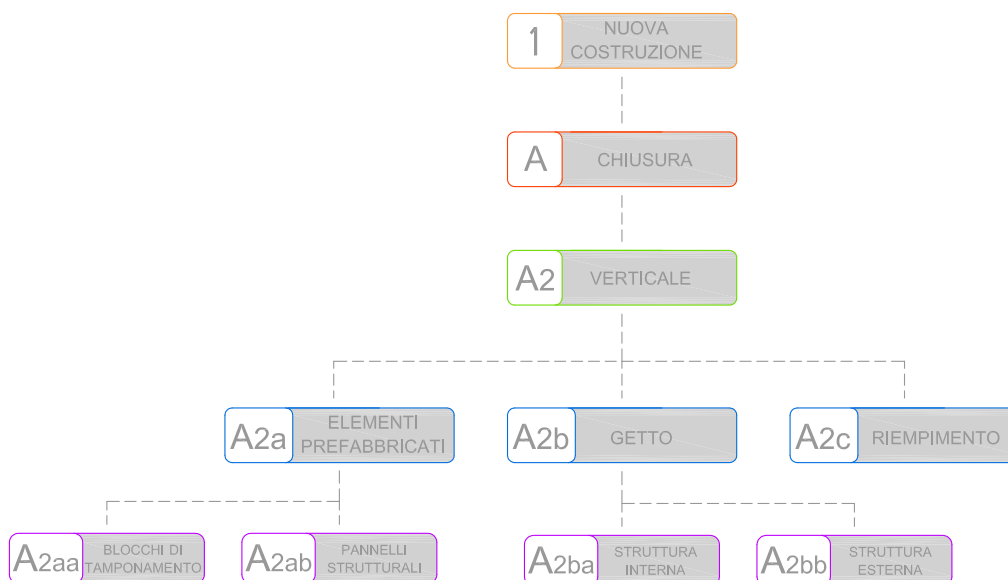
**1/ R totale [W/m<sup>2</sup>\*K] = Trasmittanza U = 0,28**

Massa superficiale m [kg/m <sup>2</sup> ]	<b>235,00</b>
Coefficiente di sfasamento $\Phi$	<b>23h24'</b>

Trasmittanza massima	dal 1/1/2010	0,32
	per le detrazioni del 55% dal 26/1/2010	0,28

\* Miscela Tradical 70® Chanvribat®

#### 4.4.1.2 CHIUSURA VERTICALE



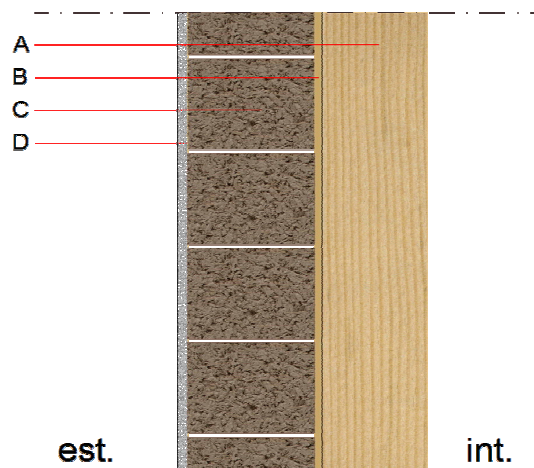
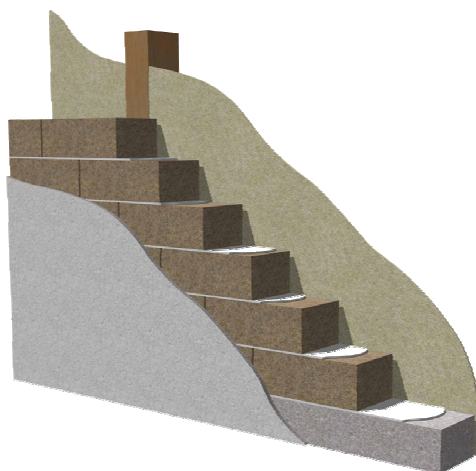
I pacchetti con il codice **A2a** si riferiscono alle tecnica costruttiva in elementi prefabbricati e nello specifico, l'utilizzo di blocchi prefabbricati in calcecanapulo per la realizzazione di chiusure verticali; le prime tre soluzioni presentano murature di tamponamento con l'utilizzo di blocchi Equilibrium ( $\lambda= 0,07 \text{ W/mK}$ ) di vari spessori.

I pacchetti con il codice **A2a** si riferiscono alle tecnica costruttiva in elementi prefabbricati e nello specifico, l'utilizzo di blocchi prefabbricati in calcecanapulo per la realizzazione di chiusure verticali; le prime tre soluzioni presentano murature di tamponamento con l'utilizzo di blocchi Equilibrium ( $\lambda= 0,07 \text{ W/mK}$ ) di vari spessori.

I tre particolari **A2c** si riferiscono ai sistemi di riempimento fra pannelli per strutture intelaiate in legno o in ferro zincato, con le quali viene impiegato un getto di calcecanapulo 1:1 (densità di  $250 \text{ Kg/m}^3$ , conduttività termica di  $0,06 \text{ W/mK}$ ) che le conferisce la funzione isolante. Gli spessori delle strutture sono determinati al fine di poter arrivare a un valore di trasmittanza termica di  $0,26 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

## NUOVA COSTRUZIONE

<b>A2aa1</b>	<b>CHIUSURA VERTICALE</b> BLOCCHI PREFABBRICATI DA TAMPONAMENTO CONTRO UNA STRUTTURA PORTANTE IN LEGNO	
--------------	---	---



Caratteristiche termiche e igrometriche dei componenti opachi  
 Dall'interno verso l'esterno

	Descrizione strato	s [mm]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\lambda$ [W/mK]	C [kcal/kg]	$\mu$	R [m <sup>2</sup> *K/W]
	Resistenza interna						0,13
A	struttura portante in legno						
B	intonaco in calcecanapulo 1:4,5 *	10	650	0,17	0,28		0,06
C	blocchi in calcecanapulo 250x200x500 mm **	250	320	0,07	0,425	4,5	3,57
D	intonaco di calce e sabbia	20	1600	0,8	0,28	6	0,03
	Resistenza esterna						0,04
Totale		Spessore [mm] = <b>280</b>		Resistenza [m <sup>2</sup> *K/W] =			<b>3,83</b>

<b>1/ R totale [W/m<sup>2</sup>*K]</b>	<b>= Trasmittanza U =</b>	<b>0,26</b>
--	---------------------------	-------------

Massa superficiale m [kg/m <sup>2</sup> ]	<b>92,90</b>
Coefficiente di sfasamento $\Phi$	<b>13h42'</b>

Trasmittanza massima	dal 1/1/2010	0,33
	per le detrazioni del 55% dal 26/1/2010	0,26

\* Miscela Tradical 70® Chanvribat®  
 \*\* Blocco di tipo Equilibrium

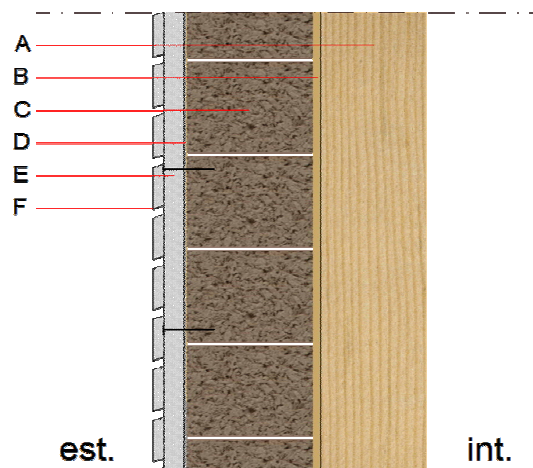
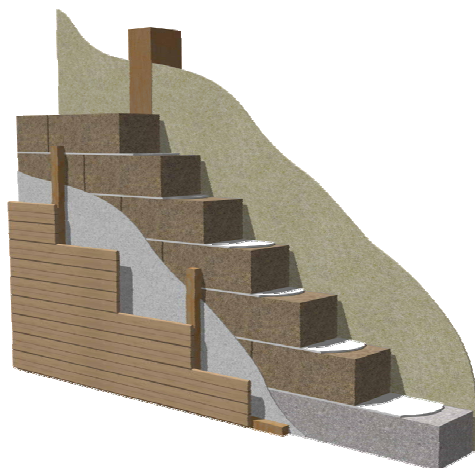
Il pacchetto A2aa1 prevede la realizzazione di una struttura puntiforme interna in legno (realizzata in conformità con le disposizioni del capitolo 11.7 del D.M. 14 Gennaio 2008) sulla quale vengono appoggiati e poi fissati dei blocchi Equilibrium di 25 cm di spessore, intonacati sia all'interno che all'esterno; all'interno viene applicato un intonaco di finitura in calcecanapulo 1;4,5 con uno spessore di 1 cm e conduttività termica pari a 0,17 W/mK. L'esterno viene intonacato con un intonaco da 2 cm di calce e sabbia. Lo spessore totale è di soli 28 cm con una trasmittanza calcolata di 0,26 W/m<sup>2</sup>K (0,32 W/m<sup>2</sup>K nel caso dell'utilizzo di blocchi di 20 cm di spessore).

## NUOVA COSTRUZIONE

### A2aa2

### CHIUSURA VERTICALE

BLOCCHI PREFABBRICATI DA TAMPONAMENTO CONTRO UNA STRUTTURA PORTANTE IN LEGNO CON RIVESTIMENTO IN LEGNO



Caratteristiche termiche e igrometriche dei componenti opachi  
Dall'interno verso l'esterno

	Descrizione strato	s [mm]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\lambda$ [W/mK]	C [kcal/kg]	$\mu$	R [m <sup>2</sup> *K/W]
	Resistenza interna						
A	struttura portante in legno						
B	intonaco in calcecanapulo 1:4,5 *	15	650	0,17	0,28		0,09
C	blocchi in calcecanapulo 200x200x500 mm**	250	320	0,07	0,425	4,5	3,57
D	intonaco di calce e sabbia	10	1600	0,8	0,28	6	0,01
E	listello di legno, intercapedine d'aria	45	1,2				0,16
F	rivestimento in doghe di legno	20	450	0,12	0,65	60	0,17
	Resistenza esterna						0,04
	Totale	<b>Spessore [mm] = 340</b>					<b>Resistenza [m<sup>2</sup>*K/W] = 4,03</b>

**1/ R totale [W/m<sup>2</sup>\*K] = Trasmittanza U = 0,25**

Massa superficiale m [kg/m <sup>2</sup> ]	<b>114,80</b>
Coefficiente di sfasamento $\Phi$	<b>14h47'</b>

Trasmittanza massima	dal 1/1/2010	0,33
	per le detrazioni del 55% dal 26/1/2010	0,26

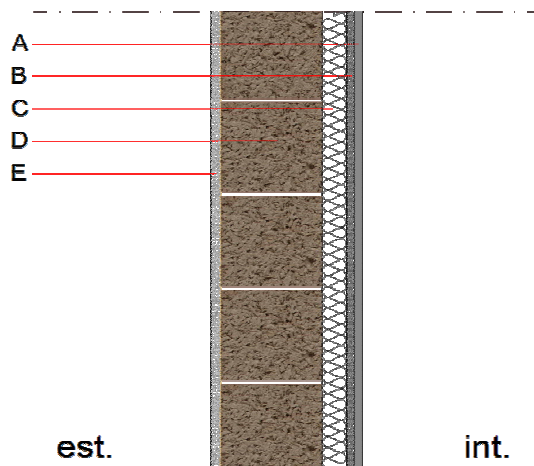
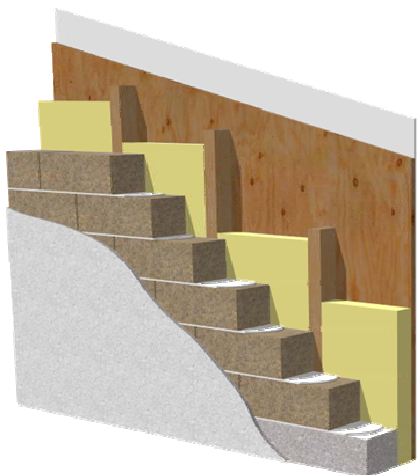
\* Miscela Tradical 70® Chanvribat®

\*\* Blocco di tipo Equilibrium

La variante A2aa2, con 34 cm, presenta una facciata ventilata e prevede l'applicazione di uno strato di intonaco in calce e sabbia da 1 cm sopra i blocchi di tamponamento, al quale vengono fissati i listelli verticali in legno con 4,5 centimetri di spessore, tra i quali viene creata la ventilazione. Le doghe di legno costituiscono il rivestimento esterno della struttura che presenta un valore di trasmittanza totale di 0,25 W/m<sup>2</sup>K (0,31 W/m<sup>2</sup>K nel caso dell'utilizzo di blocchi di 20 cm di spessore).

## NUOVA COSTRUZIONE

<b>A2aa3</b>	<b>CHIUSURA VERTICALE</b> BLOCCHI PREFABBRICATI DA TAMPONAMENTO DI STRUTTURA A TELAIO IN LEGNO CON PANNELLO ISOLANTE	
--------------	---	---



Caratteristiche termiche e igrometriche dei componenti opachi  
Dall'interno verso l'esterno

	Descrizione strato	s [mm]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\lambda$ [W/mK]	C [kcal/kg]	$\mu$	R [m <sup>2</sup> *K/W]
	Resistenza interna						0,13
A	finitura in gessofibra	15	1150	0,17	0,32	0,262	0,09
B	pannello in abete di controventatura	15	450	0,12	0,65	60	0,13
C	pannello semirigido in fibra di canapa (tipo Naturaltherm- CA)	50	50	0,038	0,53	0,5	1,32
D	blocchi in calcecanapulo 200x200x500 mm *	200	320	0,07	0,425	4,5	2,86
E	intonaco di calce e sabbia	20	1600	0,8	0,28	6	0,03
	Resistenza esterna						0,04
Totale		<b>Spessore [mm] = 300</b>					<b>Resistenza [m<sup>2</sup>*K/W] = 4,58</b>

$$1/R \text{ totale [W/m}^2\text{*K]} = \text{Trasmittanza } U = 0,22$$


Massa superficiale m [kg/m <sup>2</sup> ]	<b>122,50</b>
Coefficiente di sfasamento $\Phi$	<b>15h40'</b>

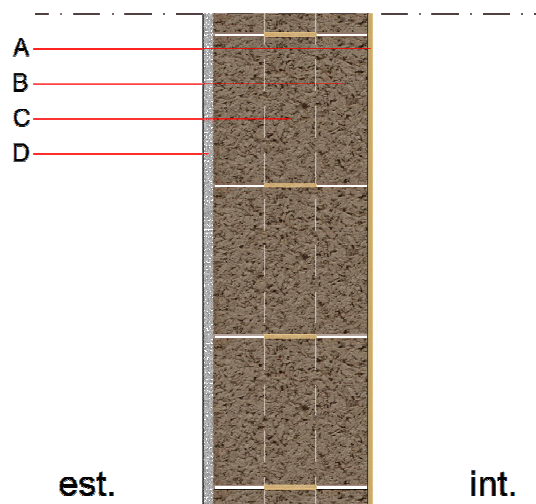
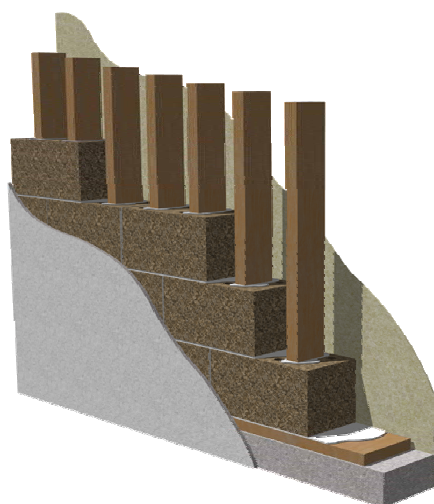
Trasmittanza massima	dal 1/1/2010	0,33
	per le detrazioni del 55% dal 26/1/2010	0,26

\* Blocco di tipo Equilibrium

Il particolare A2aa3 prevede l'abbinamento dei blocchi in calcecanapulo con una struttura a telaio in legno; vengono utilizzati blocchi di 20 cm di spessore e uno strato di pannelli flessibili in fibra di canapa tipo Naturaltherm-CA (0,038 W/mK) da 5 centimetri posati fra i montanti della struttura in legno e fissati ai pannelli interni di controventatura in legno. Questa soluzione permette di raggiungere un valore di trasmittanza di 0,22 W/m<sup>2</sup>K con spessore totale del pacchetto di 30 cm. Internamente viene fissata una lastra di finitura in gessofibra da 1,5 e all'esterno viene realizzata una finitura in calce e sabbia da 2 cm.

## NUOVA COSTRUZIONE

<b>A2aa4</b>	<b>CHIUSURA VERTICALE</b> BLOCCHI PREFABBRICATI CON STRUTTURA A PORTANTE IN LEGNO (TIPO SISTEMA EASYCHANVRE)	
--------------	---	---



Caratteristiche termiche e igrometriche dei componenti opachi  
 Dall'interno verso l'esterno

	Descrizione strato	s [mm]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\lambda$ [W/mK]	C [kcal/kg]	$\mu$	R [m <sup>2</sup> *K/W]
	Resistenza interna						0,13
A	intonaco in calcecanapulo 1:4,5 *	10	650	0,17	0,28		0,06
B	blocchi in calcecanapulo 300x300x600 mm **	300	350	0,072	0,38	4,5	4,17
C	struttura portante in legno						
D	intonaco di calce e sabbia	20	1600	0,8	0,28	6	0,03
	Resistenza esterna						0,04
	Totale	<b>Spessore [mm] = 330</b>					<b>Resistenza [m<sup>2</sup>*K/W] = 4,42</b>

<b>1/ R totale [W/m<sup>2</sup>*K] = Trasmittanza U = 0,23</b>
--


Massa superficiale m [kg/m <sup>2</sup> ]	<b>143,50</b>
Coefficiente di sfasamento $\Phi$	<b>18h25'</b>

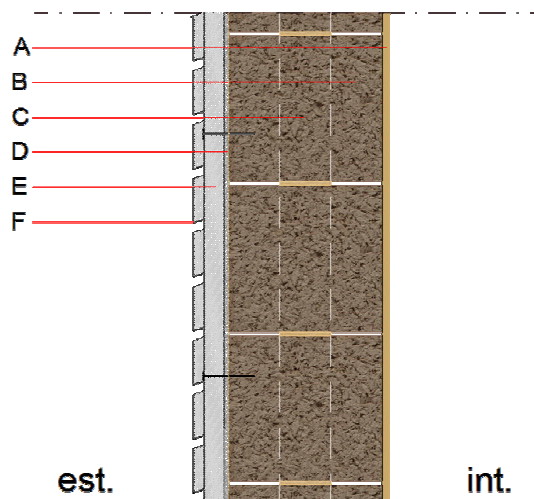
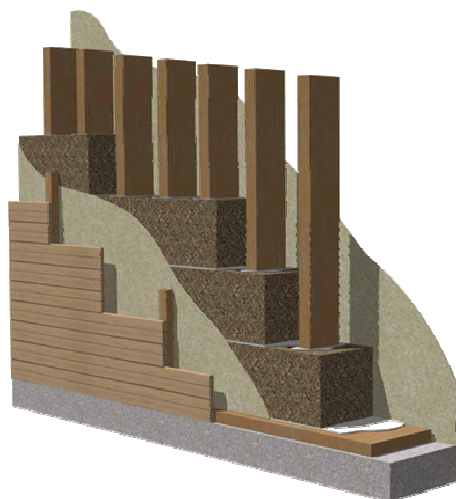
Trasmittanza massima	dal 1/1/2010	0,33
	per le detrazioni del 55% dal 26/1/2010	0,26

\* Miscela Tradical 70® Chanvribat®  
 \*\* Blocco di tipo Easychanvre

Il primo particolare A2aa4 realizzato con questo sistema, con spessore totale di 33 cm, ipotizza una semplice intonacatura dei blocchi Easychanvre, applicando all'interno un intonaco di finitura in calcecanapulo da 1 cm e un rivestimento di intonaco di calce e sabbia di 2 cm all'esterno, arrivando a un valore di trasmittanza finale di 0,23 W/m<sup>2</sup>K.

## NUOVA COSTRUZIONE

<b>A2aa5</b>	<b>CHIUSURA VERTICALE</b> BLOCCHI PREFABBRICATI CON STRUTTURA A PORTANTE IN LEGNO (TIPO SISTEMA EASYCHANVRE) CON RIVESTIMENTO IN LEGNO	
--------------	---	---



Caratteristiche termiche e igrometriche dei componenti opachi  
 Dall'interno verso l'esterno

	Descrizione strato	s [mm]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\lambda$ [W/mK]	C [kcal/kg]	$\mu$	R [m <sup>2</sup> *K/W]
	Resistenza interna						0,13
A	intonaco in calcecanapulo 1:4,5 *	10	650	0,17	0,28		0,06
B	blocchi in calcecanapulo 300x300x600 mm **	300	350	0,072	0,38	4,5	4,17
C	struttura portante in legno						
D	intonaco di calce e sabbia	10	1600	0,8	0,28	6	0,01
E	listello di legno, intercapedine d'aria	40	1,2				0,16
F	rivestimento in doghe di legno	20	450	0,12	0,65	60	0,17
	Resistenza esterna						0,04
Totale		<b>Spessore [mm] =</b>	<b>380</b>		<b>Resistenza [m<sup>2</sup>*K/W] =</b>		<b>4,73</b>

$$1/R \text{ totale [W/m}^2\text{*K]} = \text{Trasmittanza U} = \mathbf{0,21}$$


Massa superficiale m [kg/m <sup>2</sup> ]	<b>120,55</b>
Coefficiente di sfasamento $\Phi$	<b>15h17'</b>

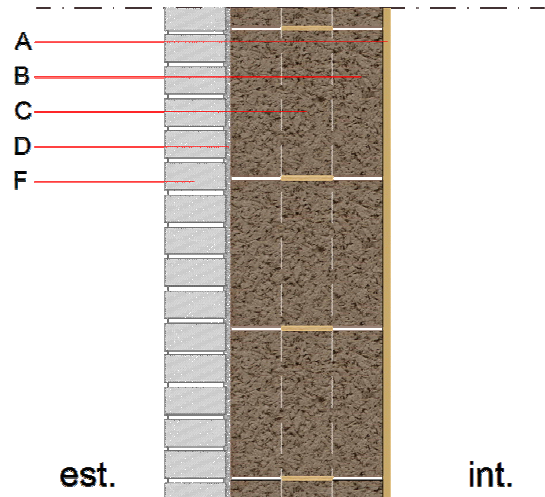
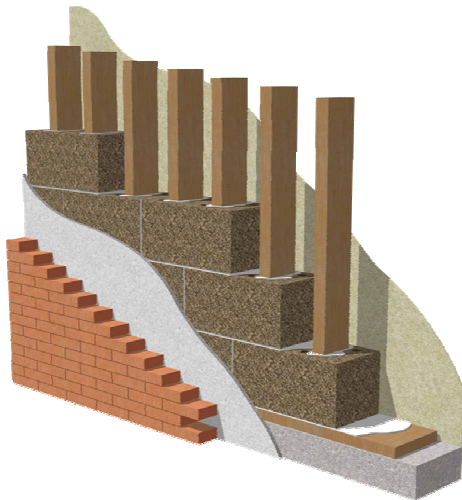
Trasmittanza massima	dal 1/1/2010	0,33
	per le detrazioni del 55% dal 26/1/2010	0,26

\* Miscela Tradical 70® Chanvribat®  
 \*\* Blocco di tipo Easychanvre

Con la presenza di una facciata ventilata, il particolare A2aa5, di 38 centimetri, raggiunge una trasmittanza di soli 0,21 W/m<sup>2</sup>K. Sopra lo strato protettivo di calce e sabbia posato sui blocchi forati, vengono posizionati dei listelli verticali di legno spessi 4 centimetri, tra i quali si crea un'intercapedine d'aria e ai quali viene fissato il rivestimento in doghe di legno.

## NUOVA COSTRUZIONE

<b>A2aa6</b>	<b>CHIUSURA VERTICALE</b> BLOCCHI PREFABBRICATI CON STRUTTURA A PORTANTE IN LEGNO (TIPO SISTEMA EASYCHANVRE) CON RIVESTIMENTO IN MATTONI	
--------------	---	---



Caratteristiche termiche e igrometriche dei componenti opachi  
 Dall'interno verso l'esterno

	Descrizione strato	s [mm]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\lambda$ [W/mK]	C [kcal/kg]	$\mu$	R [m <sup>2</sup> *K/W]
	Resistenza interna						0,13
A	intonaco in calcecanapulo 1:4,5 *	10	650	0,17	0,28		0,06
B	blocchi in calcecanapulo 300x300x600 mm **	300	350	0,072	0,38	4,5	4,17
C	struttura portante in legno						
D	intonaco di calce e sabbia	10	1600	0,8	0,28	6	0,01
E	mattoni pieni 120x204x55 mm	120	1800	0,7	0,2	10	0,17
	Resistenza esterna						0,04
Totale		<b>Spessore [mm] = 440</b>					<b>Resistenza [m<sup>2</sup>*K/W] = 4,58</b>

$$1/R \text{ totale [W/m}^2\text{*K]} = \text{Trasmittanza U} = \mathbf{0,22}$$

Massa superficiale m [kg/m <sup>2</sup> ]	<b>253,50</b>
Coefficiente di sfasamento $\Phi$	<b>21h32'</b>

Trasmittanza massima	dal 1/1/2010	0,33
	per le detrazioni del 55% dal 26/1/2010	0,26


\* Miscela Tradical 70® Chanvribat®

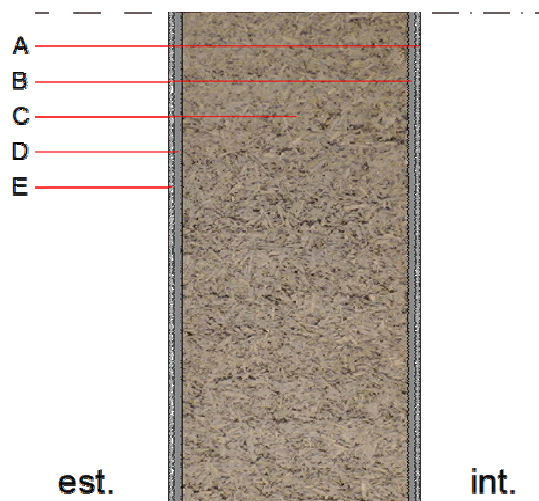
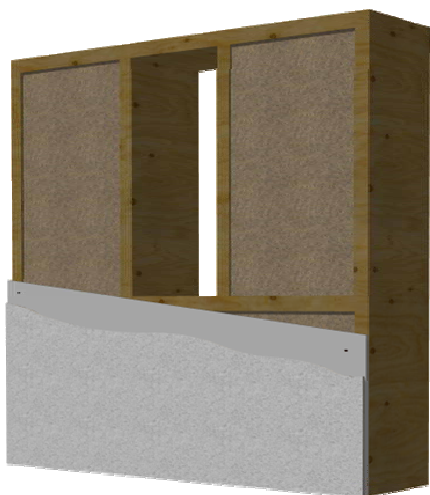
\*\* Blocco di tipo Easychanvre

Il pacchetto A2aa6 prevede invece un rivestimento esterno in mattoni pieni faccia a vista con 12 cm di spessore, fissati ai blocchi Easychanvre con uno strato di malta in calce e sabbia da 1 cm. Con uno spessore di 44 cm, si raggiunge un valore di 0,22 W/m<sup>2</sup>K di trasmittanza.



## NUOVA COSTRUZIONE

<b>A2ab1</b>	<b>CHIUSURA VERTICALE</b> PANNELLI STRUTTURALI PREFABBRICATI (TIPO SISTEMA MODCELL)	
--------------	--	---



Caratteristiche termiche e igrometriche dei componenti opachi  
 Dall'interno verso l'esterno

	Descrizione strato	s [mm]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\lambda$ [W/mK]	C [kcal/kg]	$\mu$	R [m <sup>2</sup> *K/W]
	Resistenza interna						0,13
A	intonaco di finitura in calce	10	1450	0,5	0,25	7,5	0,02
B	pannello di finitura in gessofibra	15	1150	0,17	0,32	0,262	0,09
C	getto in calcecanapulo 1:2,2 *	440	420	0,1	0,36	4,8	4,40
D	pannello di finitura in gessofibra	15	1150	0,17	0,32	0,262	0,09
E	intonaco di finitura in calce	10	1450	0,5	0,25	7,5	0,02
	Resistenza esterna						0,04
Totale		<b>Spessore [mm] =</b>	<b>490</b>	<b>Resistenza [m<sup>2</sup>*K/W] =</b>			<b>4,79</b>

**1/ R totale [W/m<sup>2</sup>\*K] = Trasmittanza U = 0,21**


<b>Massa superficiale m [kg/m<sup>2</sup>]</b>	<b>248,30</b>
<b>Coefficiente di sfasamento <math>\Phi</math></b>	<b>20h49'</b>

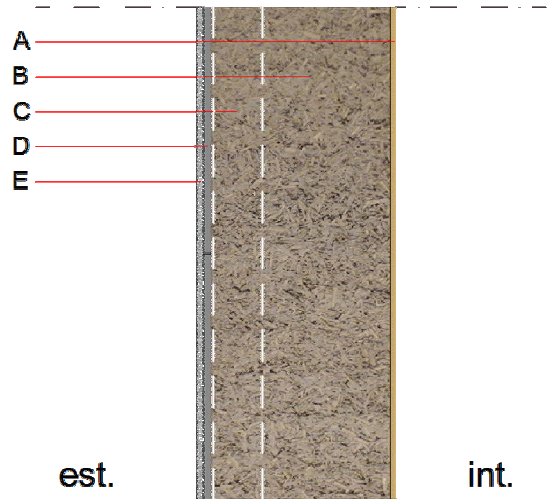
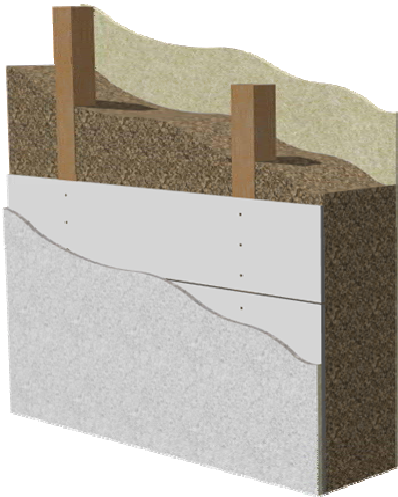
Trasmittanza massima	dal 1/1/2010	0,33
	per le detrazioni del 55% dal 26/1/2010	0,26

\* Miscela Tradical 70® Chanvribat®

Il dettaglio costruttivo A2ab1 del pannello strutturale di tipo Modcell presenta una bassa trasmittanza termica di 0,21 W/m<sup>2</sup>K e uno spessore complessivo di 49 centimetri; si tratta di un pannello strutturale costituito da 44 cm di getto in calcecanapulo 1:2,2 rivestito sia all'interno che all'esterno con un primo strato di pannello in gessofibra, 1,5 cm, e un secondo strato do finitura in intonaco a base di calce di 1 centimetro.

## NUOVA COSTRUZIONE

<b>A2ba1</b>	<b>CHIUSURA VERTICALE</b> GETTO IN CALCECANAPULO CON STRUTTURA PORTANTE ESTERNA E	
--------------	--	---



Caratteristiche termiche e igrometriche dei componenti opachi  
 Dall'interno verso l'esterno

	Descrizione strato	s [mm]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\lambda$ [W/mK]	C [kcal/kg]	$\mu\mu$	R [m <sup>2</sup> *K/W]	
	Resistenza interna						0,13	
A	rasatura in calcecanapulo 1:4,5 *	5	650	0,17	0,28		0,03	
B	getto in calcecanapulo 1:2,2 *	350	420	0,1	0,36	4,8	3,50	
C	struttura portante in legno							
D	pannello rigido in gessofibra (tipo Fermacell)	15	1150	0,32	0,27	4,5	0,05	
E	intonaco di calce e sabbia	15	1600	0,8	0,25	7,5	0,02	
	Resistenza esterna						0,04	
Totale		<b>Spessore [mm] =</b>	<b>385</b>				<b>Resistenza [m<sup>2</sup>*K/W] =</b>	<b>3,77</b>

$$1/R \text{ totale [W/m}^2\text{*K]} = \text{Trasmittanza U} = \mathbf{0,27}$$


Massa superficiale m [kg/m <sup>2</sup> ]	<b>191,50</b>
Coefficiente di sfasamento $\Phi$	<b>21h57'</b>

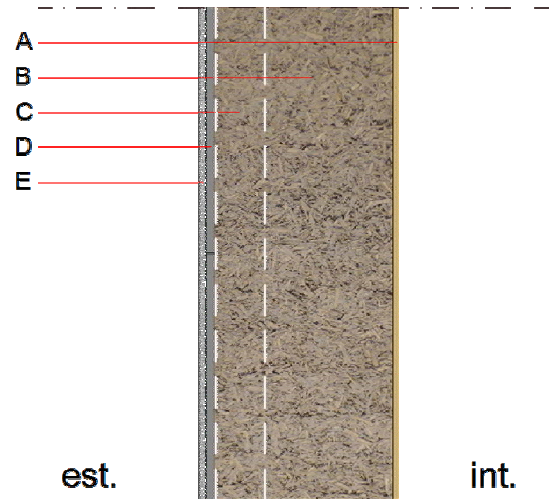
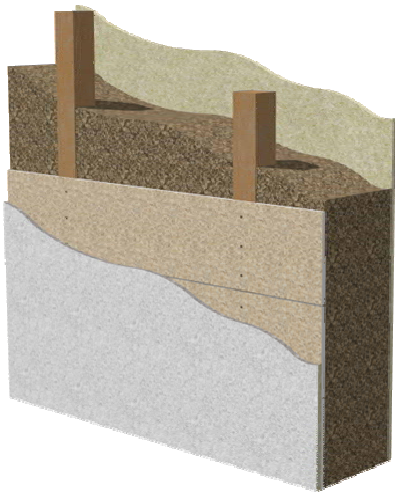
Trasmittanza massima	dal 1/1/2010	0,33
	per le detrazioni del 55% dal 26/1/2010	0,26

\* Miscela Tradical 70® Chanvribat®

Il dettaglio A2ba1 prevede la realizzazione del tamponamento murario con l'applicazione del getto in calcecanapulo, di 35 cm, mediante la tecnica a spruzzo contro casseri a perdere; esso presenta una struttura portante in legno, allineata con il lato esterno del tamponamento in getto e annegata in esso. Su tale struttura sono fissati dei pannelli da 1,5 cm di tipo Fermacell ( $\lambda = 0,32$  (W/mK), costituenti i casseri a perdere, che vengono rivestiti con intonaco in calce e sabbia con spessori di 1,5 cm. Internamente è applicata una finitura in calcecanapulo 1:4,5 con spessore di 0,5 cm. Lo spessore finale è di 38,5 cm con una trasmittanza totale di 0,26 W/m<sup>2</sup>K.

## NUOVA COSTRUZIONE

<b>A2ba2</b>	<b>CHIUSURA VERTICALE</b> GETTO IN CALCECANAPULO CON STRUTTURA PORTANTE ESTERNA	
--------------	--	---



Caratteristiche termiche e igrometriche dei componenti opachi  
 Dall'interno verso l'esterno

	Descrizione strato	s [mm]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\lambda$ [W/mK]	C [kcal/kg]	$\mu$	R [m <sup>2</sup> *K/W]
	Resistenza interna						0,13
A	rasatura in calcecanapulo 1:4,5 *	5	650	0,17	0,28		0,03
B	getto in calcecanapulo 1:2,2 *	340	420	0,1	0,36	4,8	3,40
C	struttura portante in legno						
D	pannello rigido in legnomagnesite (tipo Eraclit)	15	450	0,09	0,48	5	0,17
E	intonaco di calce e sabbia	15	1600	0,8	0,25	7,5	0,02
	Resistenza esterna						0,04
Totale		<b>Spessore [mm] =</b>	<b>375</b>	<b>Resistenza [m<sup>2</sup>*K/W] =</b>			<b>3,78</b>

<b>1/ R totale [W/m<sup>2</sup>*K]</b>	<b>= Trasmittanza U =</b>	<b>0,26</b>
--	---------------------------	-------------

<b>Massa superficiale m [kg/m<sup>2</sup>]</b>	<b>173,55</b>
<b>Coefficiente di sfasamento <math>\Phi</math></b>	<b>20h<sup>9</sup></b>

Trasmittanza massima	dal 1/1/2010	0,33
	per le detrazioni del 55% dal 26/1/2010	0,26

\* Miscela Tradical 70® Chanvribat®

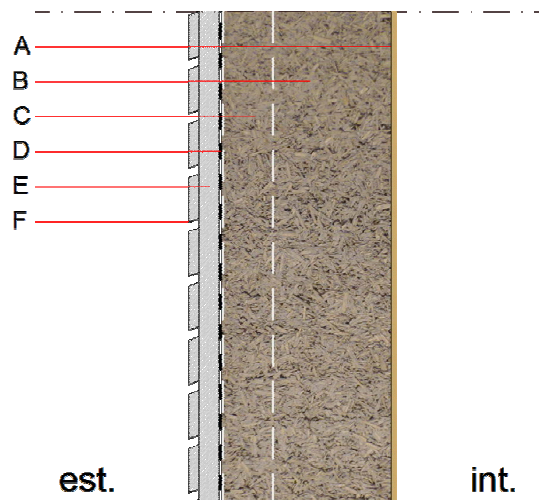
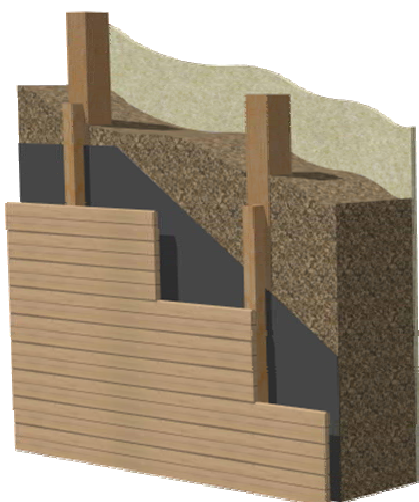
Il particolare A2ba2 riprende la logica costruttiva del pacchetto A2ba2 ma ipotizza la realizzazione del cassero a perdere con un pannello in legnomagnesite di tipo Eraclit di 1,5 cm di spessore, che presenta un  $\lambda$  più basso (rispetto al pannello Fermacell) e cioè 0,09 W/mK. Tuttavia tale miglioramento non influisce notevolmente per quanto riguarda il valore totale U, ma permette una piccola riduzione nello spessore del getto in calcecanapulo (34 centimetri) e quindi uno spessore complessivo del pacchetto di 38 centimetri con una trasmittanza termica di 0,26 W/m<sup>2</sup>K.

## NUOVA COSTRUZIONE

### A2ba3

#### CHIUSURA VERTICALE

GETTO IN CALCECANAPULO CON STRUTTURA PORTANTE ESTERNA E RIVVSTIMENTO ESTERNO IN LEGNO



Caratteristiche termiche e igrometriche dei componenti opachi  
Dall'interno verso l'esterno

	Descrizione strato	s [mm]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\lambda$ [W/mK]	C [kcal/kg]	$\mu$	R [m <sup>2</sup> *K/W]	
	Resistenza interna						0,13	
A	rasatura in calcecanapulo 1:4,5 *	5	650	0,17	0,28		0,03	
B	getto in calcecanapulo 1:2,2 *	330	420	0,1	0,36	4,8	3,30	
C	struttura portante in legno							
	guaina traspirante antivento		360	0,22	0,502	75	0,00	
D	listello di legno, intercapedine d'aria	40	1,2				0,16	
E	rivestimento in doghe di legno	20	450	0,12	0,65	60	0,17	
	Resistenza esterna						0,04	
	Totale	<b>Spessore [mm] =</b>	<b>395</b>				<b>Resistenza [m<sup>2</sup>*K/W] =</b>	<b>3,82</b>

$$1/R \text{ totale [W/m}^2\text{*K]} = \text{Trasmittanza U} = \mathbf{0,26}$$


Massa superficiale m [kg/m <sup>2</sup> ]	<b>150,90</b>
Coefficiente di sfasamento $\Phi$	<b>19h17'</b>

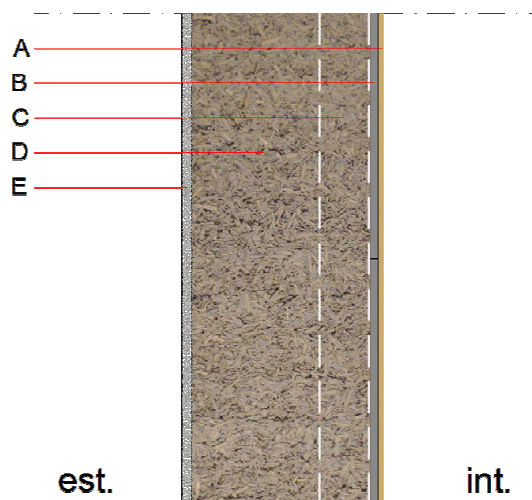
Trasmittanza massima	dal 1/1/2010	0,33
	per le detrazioni del 55% dal 26/1/2010	0,26

\* Miscela Tradical 70® Chanvribat®

La realizzazione di una facciata ventilata di 39,5 cm di spessore della variante A2ba3 permette la riduzione dello spessore del getto in calcecanapulo. Esso può essere applicato in uno spessore di 33 cm con una trasmittanza di 0,26 W/m<sup>2</sup>K e prevede l'applicazione di una guaina protettiva antivento sul lato esterno del getto in calcecanapulo, sopra alla quale vengono fissati dei listelli verticali in legno costituenti l'intercapedine di ventilazione. Il pacchetto viene rivestito in doghe di legno.

## NUOVA COSTRUZIONE

<b>A2bb1</b>	<b>CHIUSURA VERTICALE</b> GETTO IN CALCECANAPULO CON STRUTTURA PORTANTE INTERNA	
--------------	--	---



Caratteristiche termiche e igrometriche dei componenti opachi  
Dall'interno verso l'esterno

	Descrizione strato	s [mm]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\lambda$ [W/mK]	C [kcal/kg]	$\mu$	R [m <sup>2</sup> *K/W]
	Resistenza interna						0,13
A	intonaco in calcecanapulo 1:4,5 *	10	650	0,17	0,28		0,06
B	pannello rigido in gessofibra (tipo Fermacell)	15	1150	0,32	0,27	4,5	0,05
C	struttura portante in legno						
D	getto in calcecanapulo 1:2,2 *	350	420	0,1	0,36	4,8	3,50
E	intonaco di calce e sabbia	20	1600	0,8	0,28	7,5	0,03
	Resistenza esterna						0,04
	Totale Spessore [mm] =	<b>395</b>					Resistenza [m <sup>2</sup> *K/W] = <b>3,80</b>

<b>1/ R totale [W/m<sup>2</sup>*K] = Trasmittanza U =</b>	<b>0,26</b>
---	-------------


Massa superficiale m [kg/m <sup>2</sup> ]	<b>202,75</b>
Coefficiente di sfasamento $\Phi$	<b>22h15'</b>

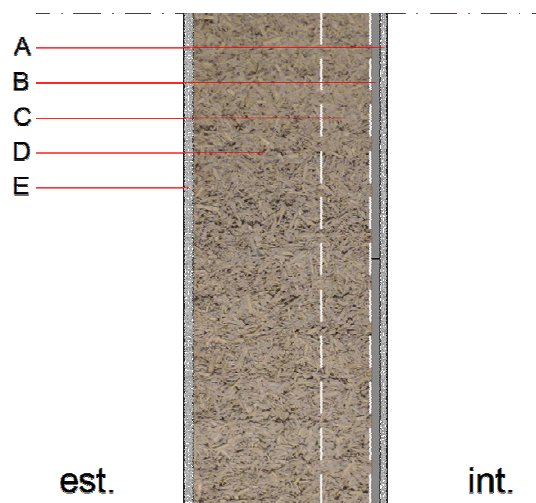
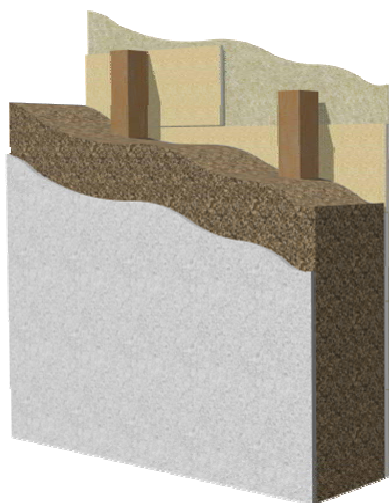
Trasmittanza massima	dal 1/1/2010	0,33
	per le detrazioni del 55% dal 26/1/2010	0,26

\* Miscela Tradical 70® Chanvribat®

I seguenti due dettagli prevedono anch'essi l'utilizzo della tecnica costruttiva a spruzzo contro casseri a perdere, con la struttura portante posizionata verso il lato interno del tamponamento in getto in calcecanapulo. Il dettaglio A2bb1 (39 cm) rappresenta una variante del particolare A2ba1: è costituito da pannelli in gesso fibra Ereclit (costituenti dei casseri a perdere) intonacati con calcecanapulo di finitura di 1 cm e fissati sulla struttura portante in legno annegata nel getto. Lo strato di tamponamento in calcecanapulo 1:2,2 di 35 cm è rivestito esternamente con intonaco di 2 cm in calce e sabbia per una trasmittanza finale di 0,26 W/m<sup>2</sup>K.

## NUOVA COSTRUZIONE

<b>A2bb2</b>	<b>CHIUSURA VERTICALE</b> GETTO IN CALCECANAPULO CON STRUTTURA PORTANTE INTERNA	
--------------	--	---



Caratteristiche termiche e igrometriche dei componenti opachi  
Dall'interno verso l'esterno

	Descrizione strato	s [mm]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\lambda$ [W/mK]	C [kcal/kg]	$\mu$	R [m <sup>2</sup> *K/W]
	Resistenza interna						0,13
A	intonaco di calce e sabbia	10	1600	0,8	0,25	7,5	0,01
B	pannello rigido in legnomagnesite (tipo Eraclit)	15	450	0,09	0,48	5	0,17
C	struttura portante in legno						
D	getto in calcecanapulo 1:2,2 *	340	420	0,1	0,36	4,8	3,40
E	intonaco di calce e sabbia	20	1600	0,8	0,28	7,5	0,03
	Resistenza esterna						0,04
Totale		<b>Spessore [mm] =</b>	<b>385</b>	<b>Resistenza [m<sup>2</sup>*K/W] =</b>			<b>3,77</b>

<b>1/ R totale [W/m<sup>2</sup>*K]</b>	<b>= Trasmittanza U =</b>	<b>0,26</b>
--	---------------------------	-------------

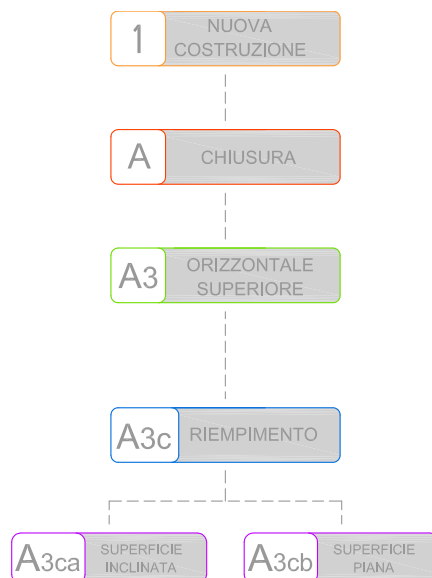
<b>Massa superficiale m [kg/m<sup>2</sup>]</b>	<b>197,55</b>
<b>Coefficiente di sfasamento <math>\Phi</math></b>	<b>21h59'</b>

Trasmittanza massima	dal 1/1/2010	0,33
	per le detrazioni del 55% dal 26/1/2010	0,26

\* Miscela Tradical 70® Chanvribat®

La variante A2bb2 presenta la stessa stratificazione e lo stesso spessore (39,5 cm) dell'A2bb1 con l'utilizzo di un cassero a perdere in legnomagnesite di tipo Eraclit (con proprietà isolanti più alte rispetto al pannello di tipo Fermacell), tuttavia, come è già detto, il valore della trasmittanza rimane di 0,26 W/m<sup>2</sup>K.

#### 4.4.1.3 CHIUSURA ORIZZONTALE SUPERIORE



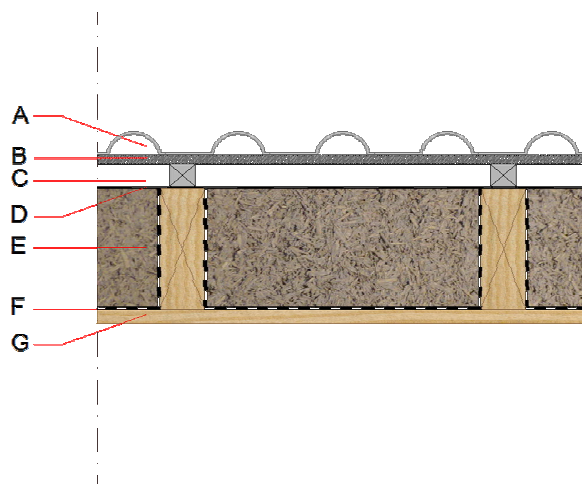
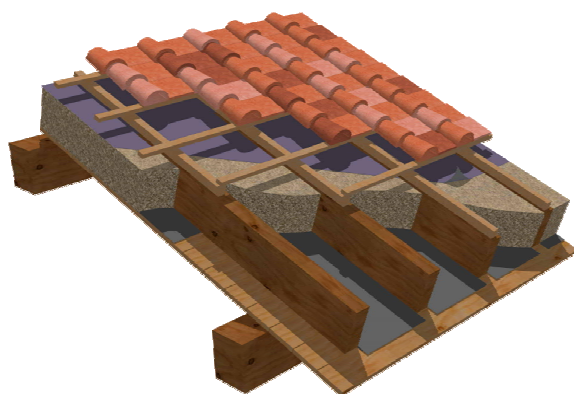
I dettagli costruttivi relativi alle chiusure orizzontali e inclinate superiori di nuovi interventi, indicati con il codice **A3c**, si riferiscono alla tecnica costruttiva del riempimento con un impasto di calcecanapulo 1:1 ( $\lambda = 0,06 \text{ W/mK}$ ), oppure, in alternativa, con canapulo sfuso ( $\lambda = 0,048 \text{ W/mK}$ ). Per tutte le soluzioni è previsto l'utilizzo di una guaina traspirante (tipo Ecofil) che protegge l'ultimo strato, sottostante il manto di copertura, dall'umidità.

Per la realizzazione di coperture inclinate (**A3ca**), il calcecanapulo funge da tamponamento isolante. Vengono utilizzate strutture a telaio in legno, sia prefabbricate, sia realizzate in cantiere. Dato l'assemblaggio a secco previsto per le soluzioni costruttive con i sistemi prefabbricati (tipo Legnolego) per questi pacchetti è stato scelto di impiegare una miscela di calcecanapulo 1:1 a secco. Il manto di copertura viene realizzato in laterizio sopra dei listelli porta tegole.

Essendo le coperture piane in legno poco diffuse non sono state qui prese in considerazione coperture piane diverse da quelle prefabbricate. I pacchetti **A3cb** si riferiscono a sistemi prefabbricati orizzontali in abbinamento con calcecanapulo a secco. Tali particolari prevedono la realizzazione di un manto di copertura metallica, appoggiato su un sottofondo in fibra di legno (tipo Steico Underfloor).

## NUOVA COSTRUZIONE

<b>A3ca1</b>	<b>CHIUSURA ORIZZONTALE SUPERIORE</b> RIEMPIMENTO FRA TRAVETTI DI SUPERFICIE INCLINATA IN LEGNO CON CALCECANAPULO	
--------------	--	---



Caratteristiche termiche e igrometriche dei componenti

Dall'esterno verso l'interno

	Descrizione strato	s [mm]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\lambda$ [W/mK]	C [kcal/kg]	$\mu$	R [m <sup>2</sup> *K/W]
	Resistenza esterna						0,04
A	copertura discontinua in laterizio						
B	listello porta tegole	15	450				
C	controlistello, intercapedine di ventilazione	45	1,2		0,24	1	0,16
D	guaina traspirante (tipo Ecofil)						
E	getto in calcecanapulo 1:1 *	250	250	0,06	0,36	11,5	4,17
F	membrana antipolvere (tipo Kraft)						
G	assito in legno in abete	25	450	0,12	0,65	60	0,21
	Resistenza interna						0,1
Totale		<b>Spessore [mm] = 335</b>					<b>Resistenza [m<sup>2</sup>*K/W] = 4,68</b>

<b>1/ R totale [W/m<sup>2</sup>*K] = Trasmittanza U = 0,21</b>
--

Massa superficiale m [kg/m <sup>2</sup> ]	<b>80,55</b>
Coefficiente di sfasamento $\Phi$	<b>14h33'</b>

Trasmittanza massima	dal 1/1/2010	0,29
	per le detrazioni del 55% dal 26/1/2010	0,23

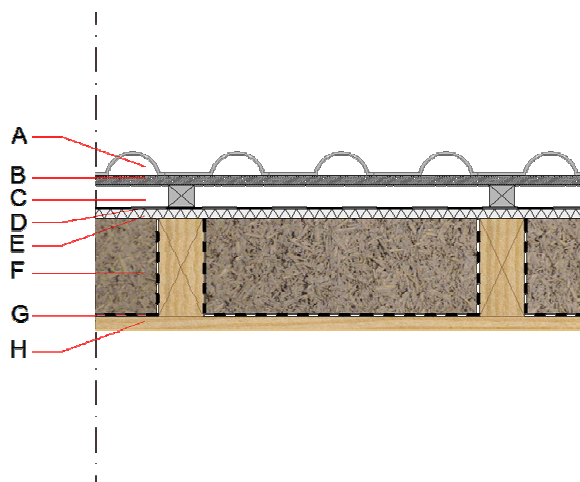
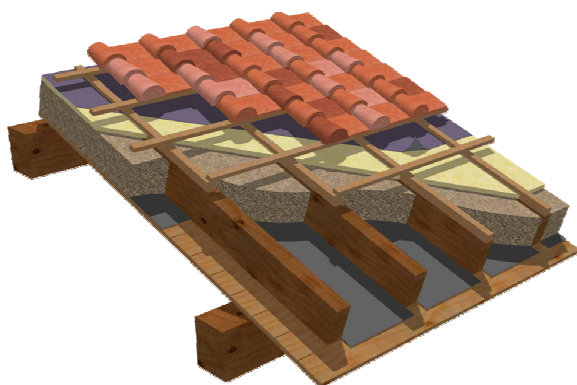
\* Miscela Tradical 70® Chanvribat®

Il particolare A3ca1 con trasmittanza di 0,21 W/m<sup>2</sup>K, e spessore di 33,5 centimetri, è composto da un assito in legno con spessore di 2,5 centimetri al quale viene applicata una membrana antipolvere e un riempimento fra travetti realizzato in calcecanapulo. Quest'ultimo ha uno spessore di 25 centimetri e viene ricoperto con una guaina traspirante e una copertura ventilata (realizzata con un controlistello spesso 4,5 centimetri).



## NUOVA COSTRUZIONE

<b>A3ca2</b>	<b>CHIUSURA ORIZZONTALE SUPERIORE</b> RIEMPIMENTO FRA TRAVETTI DI SUPERFICIE INCLINATA IN LEGNO CON CALCECANAPULO	
--------------	--	---



### Caratteristiche termiche e igrometriche dei componenti

Dall'esterno verso l'interno

	Descrizione strato	s [mm]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\lambda$ [W/mK]	C [kcal/kg]	$\mu$	R [m <sup>2</sup> *K/W]
	Resistenza esterna						0,04
A	copertura discontinua in laterizio						
B	listello porta tegole	15	450				
C	controlistello, intercapedine di ventilazione	45	1,2		0,24	1	0,16
D	guaina traspirante (tipo Ecofil)						
E	pannello isolante in fibra di legno (tipo Steico Universal)	25	270	0,048	0,51	5	0,52
F	getto in calcecanapulo 1:1 *	220	250	0,06	0,36	11,5	3,67
G	membrana antipolvere (tipo Kraft)						
H	assito in legno in abete	25	450	0,12	0,65	60	0,21
	Resistenza interna						0,1
Totale		<b>Spessore [mm] = 330</b>					<b>Resistenza [m<sup>2</sup>*K/W] = 4,70</b>

<b>1/ R totale [W/m<sup>2</sup>*K] = Trasmittanza U = 0,21</b>
--

<b>Massa superficiale m [kg/m<sup>2</sup>]</b>	<b>83,80</b>
<b>Coefficiente di sfasamento <math>\Phi</math></b>	<b>14h7'</b>

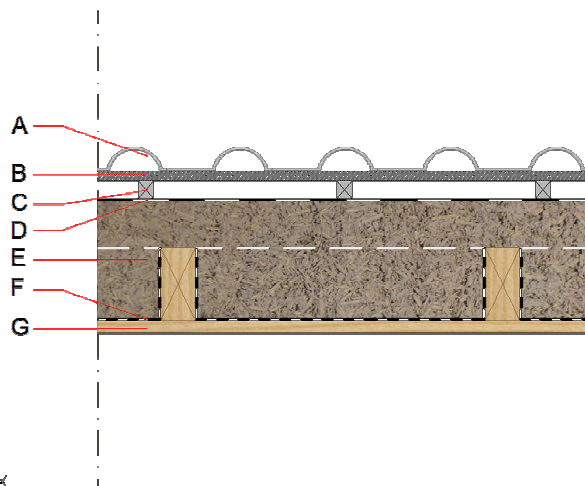
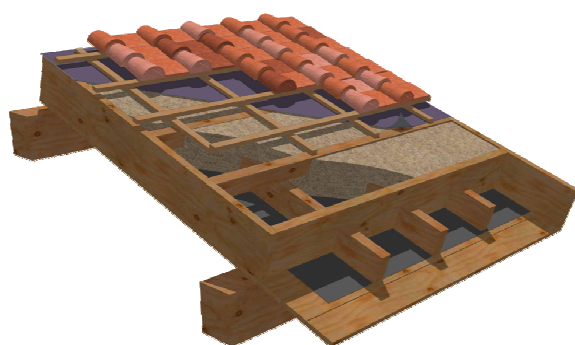
Trasmittanza massima	dal 1/1/2010	0,29
	per le detrazioni del 55% dal 26/1/2010	0,23

\* Miscela Tradical 70® Chanvribat®

Il particolare A3ca1 con trasmittanza di 0,21 W/m<sup>2</sup>K, e spessore di 33,5 centimetri, è composto da un assito in legno con spessore di 2,5 centimetri al quale viene applicata una membrana antipolvere e un riempimento fra travetti realizzato in calcecanapulo. Quest'ultimo ha uno spessore di 25 centimetri e viene ricoperto con una guaina traspirante e una copertura ventilata (realizzata con un controlistello spesso 4,5 centimetri).

## NUOVA COSTRUZIONE

<b>A3ca3</b>	<b>CHIUSURA ORIZZONTALE SUPERIORE</b> RIEMPIMENTO A CASSETTONI DI SUPERFICIE INCLINATA IN LEGNO CON CALCECANAPULO	
--------------	--	---



### Caratteristiche termiche e igrometriche dei componenti

Dall'esterno verso l'interno

	Descrizione strato	s [mm]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\lambda$ [W/mK]	C [kcal/kg]	$\mu$	R [m <sup>2</sup> *K/W]
	Resistenza esterna						0,04
A	copertura discontinua in laterizio						
B	listello porta tegole	15	450				
C	controlistello, intercapedine di aerazione	40	1,2		0,24	1	0,18
D	guaina traspirante (tipo Ecofil)						
E	getto in calcecanapulo 1:1 *	250	250	0,06	0,36	11,5	4,17
F	membrana antipolvere (tipo Kraft)						
G	assito in legno in abete	25	450	0,12	0,65	60	0,21
	Resistenza interna						0,1
Totale		<b>Spessore [mm] = 330</b>					<b>Resistenza [m<sup>2</sup>*K/W] = 4,70</b>

<b>1/ R totale [W/m<sup>2</sup>*K] = Trasmittanza U = 0,21</b>
--

<b>Massa superficiale m [kg/m<sup>2</sup>]</b>	<b>80,55</b>
<b>Coefficiente di sfasamento <math>\Phi</math></b>	<b>14h15'</b>

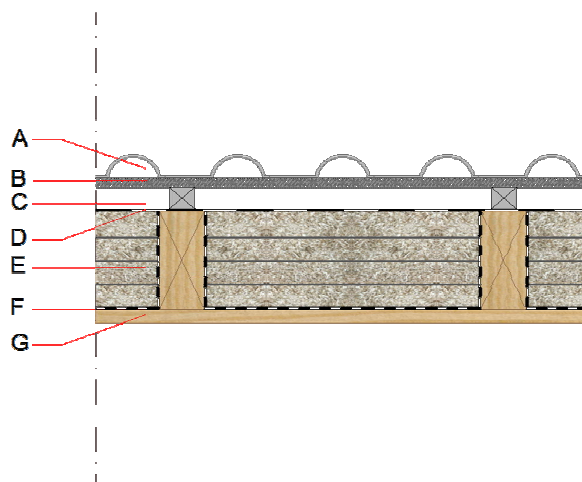
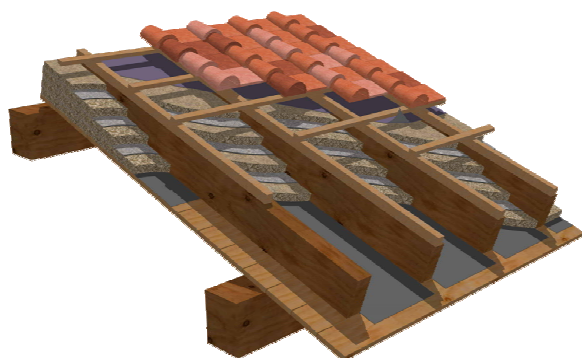
Trasmittanza massima	dal 1/1/2010	0,29
	per le detrazioni del 55% dal 26/1/2010	0,23

\* Miscela Tradical 70® Chanvribat®

La soluzione A3ca3 raggiunge una trasmittanza e uno spessore uguali al particolare A3ca2 con l'applicazione di una tecnica costruttiva così detta 'a cassettoni' che prevede il riempimento con calcecanapulo fra il sistema di travetti e controtravetti (di 25 centimetri di spessore totale) al fine di facilitare il processo di tamponamento; la posa del manto di copertura viene eseguita come precedentemente descritto con listello di legno di 4,5 centimetri, spessore dell'intercapedine di ventilazione del sistema.

## NUOVA COSTRUZIONE

<b>A3ca4</b>	<b>CHIUSURA ORIZZONTALE SUPERIORE</b> RIEMPIMENTO A CASSETTONI DI SUPERFICIE INCLINATA IN LEGNO CON CANAPULO SFUSO STRATIFICATO CON CALCE	
--------------	--	---



### Caratteristiche termiche e igrometriche dei componenti

Dall'esterno verso l'interno

	Descrizione strato	s [mm]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\lambda$ [W/mK]	C [kcal/kg]	$\mu$	R [m <sup>2</sup> *K/W]
	Resistenza esterna						0,04
A	copertura discontinua in laterizio						
B	listello porta tegole	15	450				
C	controlistello, intercapedine di ventilazione	45	1,2		0,24	1	0,16
D	guaina traspirante (tipo Ecofil)						
E	canapulo sfuso stratificato con latte di calce *	200	110	0,048	0,46	1,5	4,17
F	membrana antipolvere (tipo Kraft)						
G	assito in legno in abete	25	450	0,12	0,65	60	0,21
	Resistenza interna						0,1
Totale		<b>Spessore [mm] = 285</b>					<b>Resistenza [m<sup>2</sup>*K/W] = 4,68</b>

<b>1/ R totale [W/m<sup>2</sup>*K] = Trasmittanza U = 0,21</b>
--

<b>Massa superficiale m [kg/m<sup>2</sup>]</b>	<b>40,05</b>
<b>Coefficiente di sfasamento <math>\Phi</math></b>	

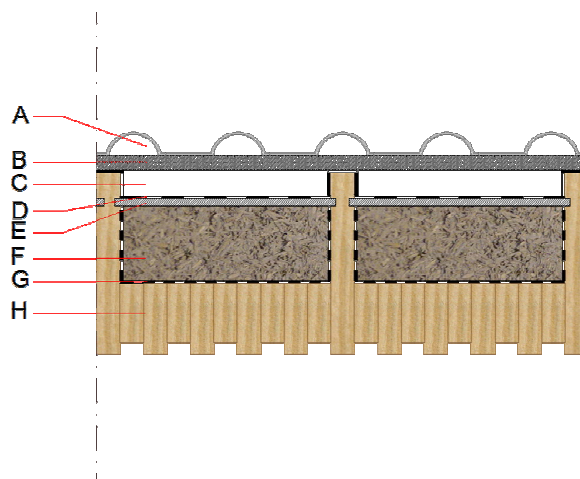
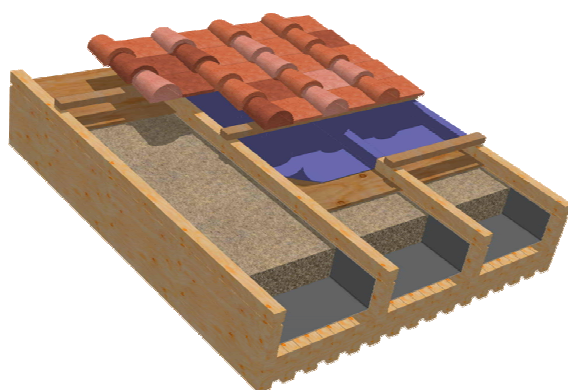
Trasmittanza massima	dal 1/1/2010	0,29
	per le detrazioni del 55% dal 26/1/2010	0,23

\* Calce Tradical 70®, Canapulo Chanvribat®

Nel particolare costruttivo A3ca4 viene utilizzata una tecnica di riempimento a strati (sistema stratificato) che prevede la realizzazione dell'isolamento con strati alternati di canapulo sfuso (0,048 W/mK) di circa 5 centimetri, ricoperto da uno strato molto sottile (0,5 centimetri circa) in malta di calce. Con l'utilizzo di tale tecnica è possibile arrivare a un valore di trasmittanza di 0,21 W/m<sup>2</sup>K con soli 20 centimetri di calcecanapulo e uno complessivo di 28,5 centimetri.

## NUOVA COSTRUZIONE

<b>A3ca5</b>	<b>CHIUSURA ORIZZONTALE SUPERIORE</b> RIEMPIMENTO DI UN SISTEMA PREFABBRICATO INCLINATO IN LEGNO MASSICCIO (TIPO LEGOLEGNO) CON CALCECANAPULO	
--------------	--	---



Caratteristiche termiche e igrometriche dei componenti  
Dall'esterno verso l'interno

	Descrizione strato	s [mm]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\lambda$ [W/mK]	C [kcal/kg]	$\mu$	R [m <sup>2</sup> *K/W]
	Resistenza esterna						0,04
A	copertura discontinua in laterizio						
B	listello porta tegole	30	450				
C	intercapedine di ventilazione	50	1,2		0,24	1	0,16
D	guaina traspirante (tipo Ecofil)						
E	pannello di legno	15	450	0,12	0,65	60	0,16
F	calcecanapulo 1:1 a secco	160	250	0,06	0,36	11,5	2,67
G	membrana antipolvere (tipo Kraft)						
H	struttura portante in abete massiccio	160	450	0,12	0,65	60	1,33
	Resistenza interna						0,1
Totale		<b>Spessore [mm] =</b>	<b>415</b>	<b>Resistenza [m<sup>2</sup>*K/W] =</b>			<b>4,46</b>

$$1/R \text{ totale [W/m}^2\text{*K]} = \text{Trasmittanza U} = \mathbf{0,22}$$

<b>Massa superficiale m [kg/m<sup>2</sup>]</b>	<b>132,31</b>
<b>Coefficiente di sfasamento <math>\Phi</math></b>	<b>19h20'</b>

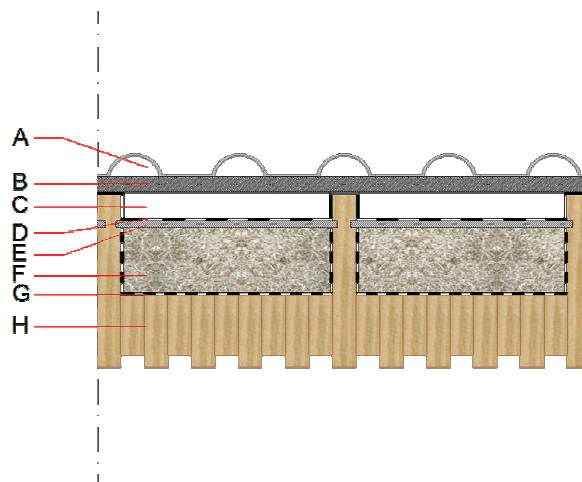
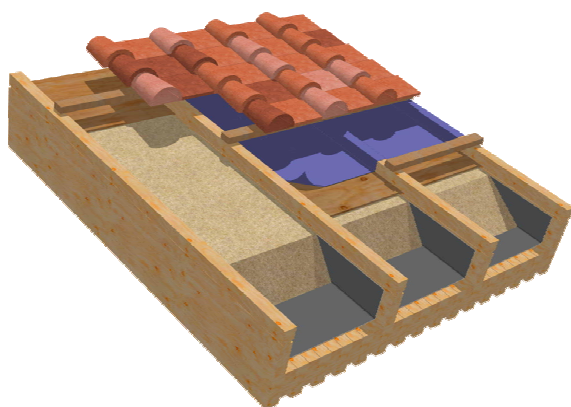
Trasmittanza massima	dal 1/1/2010	0,29
	per le detrazioni del 55% dal 26/1/2010	0,23

\* Miscela Tradical 70® Chanvribat®

Nel pacchetto A3ca5, con spessore di 41,5 cm, è stato utilizzato un sistema prefabbricato inclinato in legno massiccio tipo Legnolego. L'impiego di calcecanapulo 1:1 richiede un modulo spesso 16 cm, con vano alto 22,5 cm, di cui 16 cm di isolamento in calcecanapulo, racchiuso con un pannello di legno di 1,5 centimetri. 5 cm di intercapedine d'aria sono destinati alla ventilazione del sistema. Il modulo viene avvolto da una guaina protettiva e la copertura in laterizio viene fissata sopra dei listelli porta tegole. Il valore di trasmittanza così raggiunto è di 0,22 W/m<sup>2</sup>K.

## NUOVA COSTRUZIONE

<b>A3ca6</b>	<b>CHIUSURA ORIZZONTALE SUPERIORE</b> RIEMPIMENTO DI UN SISTEMA PREFABBRICATO INCLINATO IN LEGNO MASSICCIO (TIPO LEGOLEGNO) CON CANAPULO SFUSO	
--------------	---	---



### Caratteristiche termiche e igrometriche dei componenti

Dall'esterno verso l'interno

	Descrizione strato	s [mm]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\lambda$ [W/mK]	C [kcal/kg]	$\mu$	R [m <sup>2</sup> *K/W]
	Resistenza esterna						0,04
A	copertura discontinua in laterizio						
B	listello porta tegole	30	450				
C	intercapedine di ventilazione	50	1,2		0,24	1	0,16
D	guaina traspirante (tipo Ecofil)						
E	pannello di legno	15	450	0,12	0,65	60	0,16
F	canapulo sfuso *	140	110	0,048	0,46	1,5	2,92
G	membrana antipolvere (tipo Kraft)						
H	struttura portante in abete massiccio	140	450	0,12	0,65	60	1,17
	Resistenza interna						0,1
Totale		<b>Spessore [mm] =</b>	<b>375</b>	<b>Resistenza [m<sup>2</sup>*K/W] =</b>			<b>4,54</b>

<b>1/ R totale [W/m<sup>2</sup>*K]</b>	<b>= Trasmittanza U =</b>	<b>0,22</b>
--	---------------------------	-------------

<b>Massa superficiale m [kg/m<sup>2</sup>]</b>	<b>98,71</b>
<b>Coefficiente di sfasamento <math>\Phi</math></b>	<b>16h46'</b>

Trasmittanza massima	dal 1/1/2010	0,29
	per le detrazioni del 55% dal 26/1/2010	0,23

\* Canapulo Chanvribat®

Il dettaglio A3ca6, raggiunge lo stesso valore di trasmittanza di 0,22 W/m<sup>2</sup>K del pacchetto A3ca5 con uno spessore minore (37,5 cm): esso prevede uno spessore di 14 cm di isolamento in canapulo sfuso in un modulo Legnolego spesso 14 cm.


Il primo dettaglio costruttivo di un tetto piano A3cb1, è realizzato con un sistema prefabbricato a telaio di cui l'isolamento è costituito da calcecanapulo con uno spessore di 22 cm al quale viene applicato un pannello in fibra di legno di 2,2 cm (con densità di 270 kg/m<sup>2</sup>) che chiude la struttura. La ventilazione è dovuta ad un listello di legno da 5 cm al quale viene fissato un pannello rigido in legno (2 cm) che svolge la funzione di piano di appoggio per un sottofondo spesso 0,5 centimetri e per la copertura metallica. Con uno spessore complessivo di 34,5 centimetri, si raggiunge una trasmittanza termica U di 0,20 W/m<sup>2</sup>K. Va notato che anche con soli 19 centimetri di calcecanapulo è possibile raggiungere un valore sufficiente di trasmittanza (0,23 W/m<sup>2</sup>K), tuttavia la massa superficiale prevista per tale pacchetto risulterebbe molto bassa (meno di 80 kg/m<sup>2</sup>).

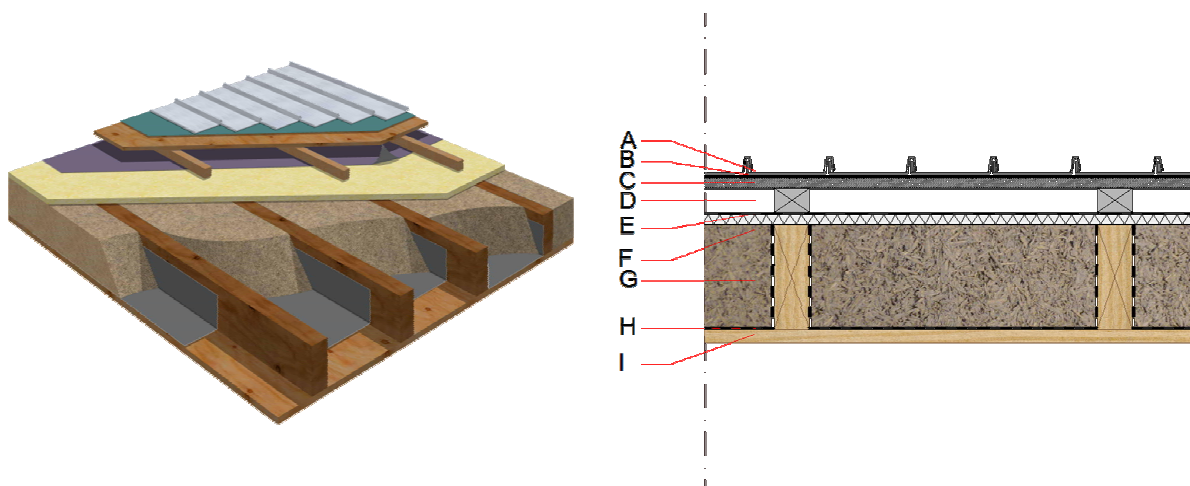
Con l'impiego di canapulo sfuso per l'isolamento del sistema, come mostrato dal particolare A3cb2, è sufficiente uno spessore di 15 centimetri per la realizzazione del tamponamento in modo da raggiungere un valore U di 0,23 W/m<sup>2</sup>K. Tuttavia, si tratta di un pacchetto con una massa superficiale piuttosto bassa, cioè di 45 kg/m<sup>2</sup>.

Un altro metodo per realizzare una chiusura superiore piana è l'utilizzo del sistema Legnolego che permette l'utilizzo sia del calcecanapulo che del canapulo sfuso con buoni risultati di isolamento. Il pacchetto A3cb3 con 40,5 cm di spessore e trasmittanza termica di 0,21 W/m<sup>2</sup>K, è composto da un modulo spesso 16 cm, riempito con 16 cm di calcecanapulo al quale viene applicato un pannello di legno avvolto in una guaina traspirante protettiva; la realizzazione della copertura metallica viene eseguita come precedentemente descritto.

L'impiego di 13 cm di canapulo sfuso per l'isolamento di tale sistema (A3cb4) presenta un valore di trasmittanza termica di 0,22 W/m<sup>2</sup>K, con uno spessore finale di 34,5 centimetri.

## NUOVA COSTRUZIONE

<b>A3cb1</b>	<b>CHIUSURA ORIZZONTALE SUPERIORE</b> RIEMPIMENTO FRA TRAVETTI DI SUPERFICIE PIANA DI UN SISTEMA A TELAIO PREFABBRICATO ORIZZONTALE CON CALCECANAPULO	
--------------	---	---



Caratteristiche termiche e igrometriche dei componenti  
Dall'esterno verso l'interno

	Descrizione strato	s [mm]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\lambda$ [W/mK]	C [kcal/kg]	$\mu$	R [m <sup>2</sup> *K/W]
	Resistenza esterna						0,04
A	copertura metallica						
B	sottofondo in fibra di legno (tipo Steico Underfloor)	5	250	0,05			0,10
C	pannello in legno	20	450	0,12	0,65	60	0,17
D	intercapedine di ventilazione	50	1,2		0,24	1	0,16
E	guaina traspirante (tipo Ecofil)						
F	pannello isolante in fibra di legno (tipo Steico Universal)	22	270	0,048	0,51	5	0,46
G	calcecanapulo 1:1 a secco *	220	250	0,06	0,36	11,5	3,67
H	membrana antipolvere (tipo Kraft)						
I	assito in legno	27	450	0,12	0,65	60	0,23
	Resistenza interna						0,1
Totale		<b>Spessore [mm] =</b>	<b>344</b>	<b>Resistenza [m<sup>2</sup>*K/W] =</b>			<b>4,91</b>

**1/ R totale [W/m<sup>2</sup>\*K] = Trasmittanza U = 0,20**

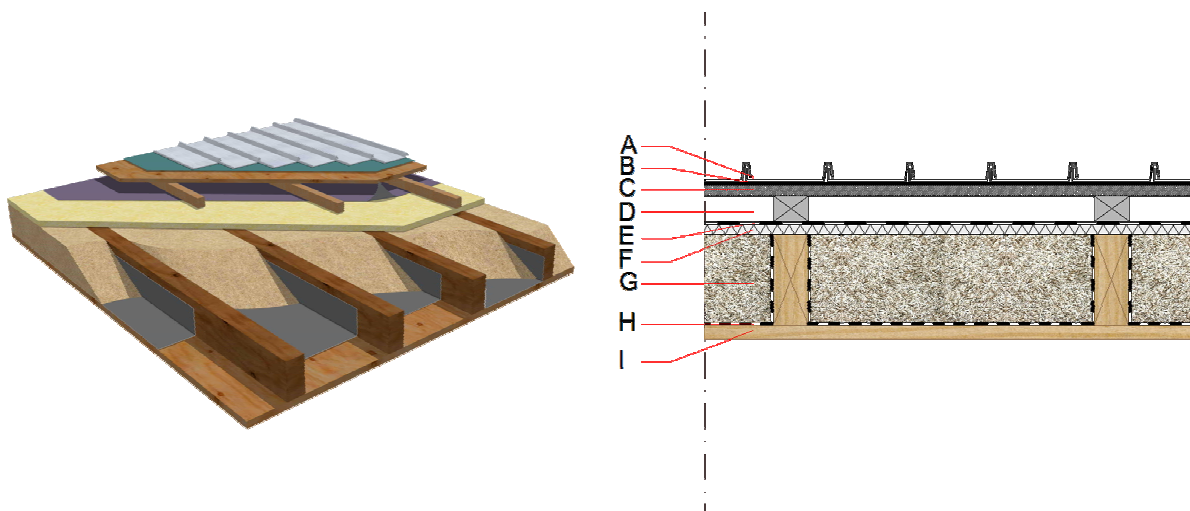
<b>Massa superficiale m [kg/m<sup>2</sup>]</b>	<b>83,40</b>
<b>Coefficiente di sfasamento <math>\Phi</math></b>	<b>14h58'</b>

Trasmittanza massima	dal 1/1/2010	0,29
	per le detrazioni del 55% dal 26/1/2010	0,23

\* Miscela Tradical 70® Chanvribat®

## NUOVA COSTRUZIONE

<b>A3cb2</b>	<b>CHIUSURA ORIZZONTALE SUPERIORE</b> RIEMPIMENTO FRA TRAVETTI DI SUPERFICIE PIANA DI UN SISTEMA A TELAIO PREFABBRICATO ORIZZONTALE CON CANAPULO SFUSO	
--------------	--	---



Caratteristiche termiche e igrometriche dei componenti  
Dall'esterno verso l'interno

	Descrizione strato	s [mm]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\lambda$ [W/mK]	C [kcal/kg]	$\mu$	R [m <sup>2</sup> *K/W]
	Resistenza esterna						0,04
A	copertura metallica						
B	sottofondo in fibra di legno (tipo Steico Underfloor)	5	250	0,05			0,10
C	pannello in legno	20	450	0,12	0,65	60	0,17
D	intercapedine di ventilazione	50	1,2		0,24	1	0,16
E	guaina traspirante (tipo Ecofil)						
F	pannello isolante in fibra di legno (tipo Steico Universal)	22	270	0,048	0,51	5	0,46
G	canapulo sfuso *	150	110	0,048	0,46	1,5	3,13
H	membrana antipolvere (tipo Kraft)						
I	assito in legno	27	450	0,12	0,65	60	0,23
	Resistenza interna						0,1
Totale		<b>Spessore [mm] =</b>	<b>274</b>	<b>Resistenza [m<sup>2</sup>*K/W] =</b>			<b>4,37</b>

$$1/ R \text{ totale [W/m}^2\text{*K]} = \text{Trasmittanza U} = \mathbf{0,23}$$


Massa superficiale m [kg/m <sup>2</sup> ]	<b>44,90</b>
Coefficiente di sfasamento $\Phi$	

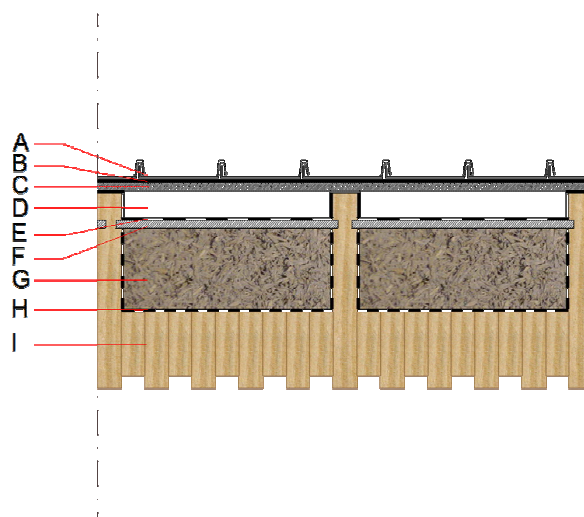
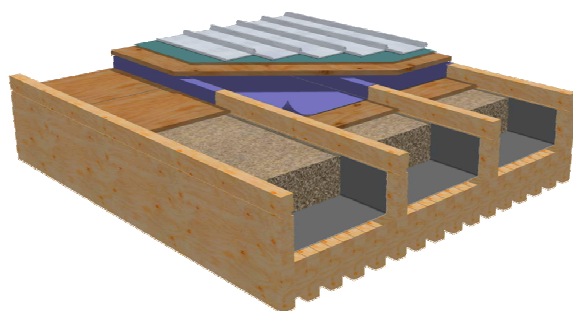
Trasmittanza massima	dal 1/1/2010	0,29
	per le detrazioni del 55% dal 26/1/2010	0,23

\* Canpulo Chanvribat®



## NUOVA COSTRUZIONE

<b>A3cb3</b>	<b>CHIUSURA ORIZZONTALE SUPERIORE</b> RIEMPIMENTO DI UN SISTEMA PREFABBRICATO ORIZZONTALE IN LEGNO MASSICCIO (TIPO LEGOLEGNO) CON CALCECANAPULO	
--------------	---	---



Caratteristiche termiche e igrometriche dei componenti  
Dall'esterno verso l'interno

	Descrizione strato	s [mm]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\lambda$ [W/mK]	C [kcal/kg]	$\mu$	R [m <sup>2</sup> *K/W]
	Resistenza esterna						0,04
A	copertura metallica						
B	sottofondo in fibra di legno (tipo Steico Underfloor)	5	250	0,05			0,10
C	assito di legno fessurato	15	450	0,12	0,65	60	0,13
D	intercapedine di ventilazione	50	1,2		0,24	1	0,16
E	guaina traspirante (tipo Ecofil)						
F	pannello di legno	15	450	0,12	0,65	60	0,16
G	calcecanapulo 1:1 a secco *	160	250	0,06	0,36	11,5	2,67
H	membrana antipolvere (tipo Kraft)						
I	struttura portante in abete massiccio	160	450	0,12	0,65	60	1,33
	Resistenza interna						0,1
Totale		<b>Spessore [mm] =</b>	<b>405</b>	<b>Resistenza [m<sup>2</sup>*K/W] =</b>			<b>4,68</b>

$$1/R \text{ totale [W/m}^2\text{*K]} = \text{Trasmittanza U} = \mathbf{0,21}$$

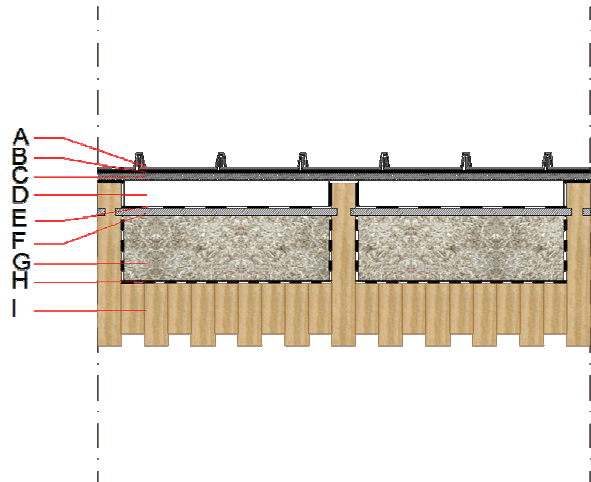
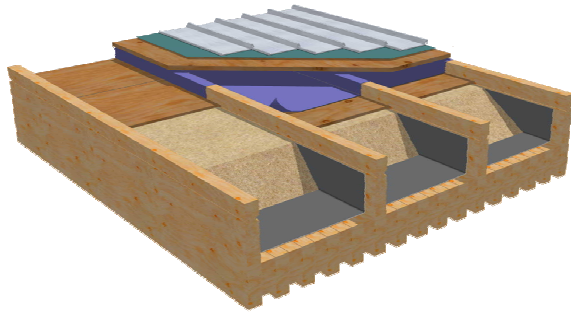
<b>Massa superficiale m [kg/m<sup>2</sup>]</b>	<b>126,81</b>
<b>Coefficiente di sfasamento <math>\Phi</math></b>	<b>18h18'</b>

Trasmittanza massima	dal 1/1/2010	0,29
	per le detrazioni del 55% dal 26/1/2010	0,23

\* Miscela Tradical 70® Chanvribat®

## NUOVA COSTRUZIONE

<b>A3cb4</b>	<b>CHIUSURA ORIZZONTALE SUPERIORE</b> RIEMPIMENTO DI UN SISTEMA PREFABBRICATO ORIZZONTALE IN LEGNO MASSICCIO (TIPO LEGOLEGNO) CON CANAPULO SFUSO	
--------------	--	---



### Caratteristiche termiche e igrometriche dei componenti

Dall'esterno verso l'interno

	Descrizione strato	s [mm]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\lambda$ [W/mK]	C [kcal/kg]	$\mu$	R [m <sup>2</sup> *K/W]
	Resistenza esterna						0,04
A	copertura metallica						
B	sottofondo in fibra di legno (tipo Steico Underfloor)	5	250	0,05			0,10
C	assito di legno fessurato	15	450	0,12	0,65	60	0,13
D	intercapedine di ventilazione	50	1,2		0,24	1	0,16
E	guaina traspirante (tipo Ecofil)						
F	pannello di legno	15	450	0,12	0,65	60	0,16
G	canapulo sfuso	130	110	0,048	0,46	1,5	2,71
H	membrana antipolvere (tipo Kraft)						
I	struttura portante in abete massiccio	130	450	0,12	0,65	60	1,08
	Resistenza interna						0,1
Totale		<b>Spessore [mm] =</b>	<b>345</b>	<b>Resistenza [m<sup>2</sup>*K/W] =</b>			<b>4,47</b>

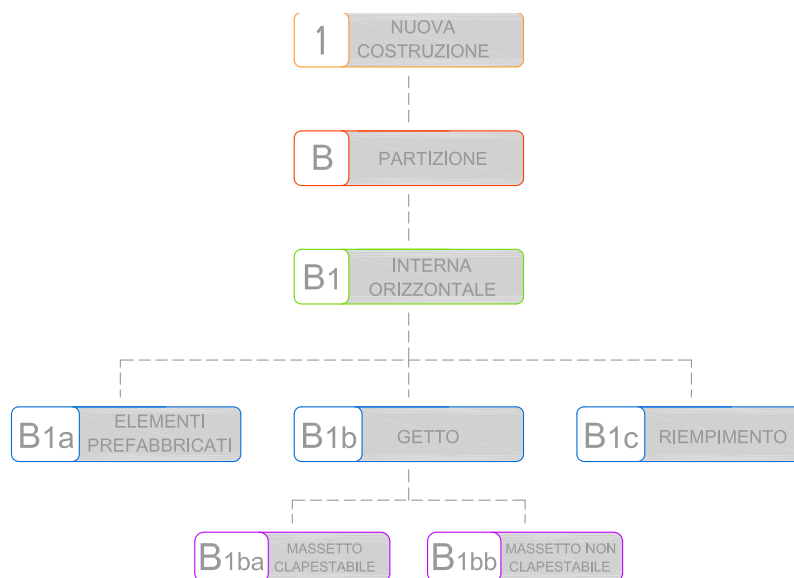
<b>1/ R totale [W/m<sup>2</sup>*K]</b>	<b>= Trasmittanza U =</b>	<b>0,22</b>
--	---------------------------	-------------

<b>Massa superficiale m [kg/m<sup>2</sup>]</b>	<b>80,86</b>
<b>Coefficiente di sfasamento <math>\Phi</math></b>	<b>15h'</b>

Trasmittanza massima	dal 1/1/2010	0,29
	per le detrazioni del 55% dal 26/1/2010	0,23

\* Canpulo Chanvribat®

#### 4.4.1.4 PARTIZIONE INTERNA ORIZZONTALE



Nei pacchetti costruttivi di partizioni interne orizzontali, i blocchi in calcecanapulo possono essere utilizzati per la realizzazione dello strato isolante sia termico che acustico del pacchetto. I pacchetti del gruppo **B1a** prevedono l'impiego di blocchi Equilibrium sopra una struttura tradizionale in legno, composta da travetti di legno alti 15 cm ai quali viene fissato un tavolato in legno da 4 cm. Applicando i blocchi su un foglio di carta Kraft, si impedisce la diffusione della polvere dal soffitto.

I particolari costruttivi del gruppo **B1b** illustrano le diverse soluzioni per la realizzazione di un massetto in calcecanapulo per le partizioni interne orizzontali e prevedono la realizzazione di una struttura tradizionale in legno, realizzata da travetti di legno adeguatamente dimensionati (lasciati a vista), ai quali viene fissato un assito in legno da 4 centimetri ricoperto di una membrana antipolvere in carta Kraft. Per la realizzazione del massetto in getto di solai calpestabili (**B1ba**) viene utilizzato un impasto in calcecanapulo 1:2,75 (con conduttività termica di 0,11 W/mK e densità di 500 kg/m<sup>3</sup>). Gli eventuali impianti idrici ed elettrici vengono annegati nel massetto, che nel caso delle chiusure inferiori orizzontali, necessita di uno strato isolante aggiuntivo di 4 cm, realizzato in fibra di legno tipo Steico Universal (0,048 W/mK) al fine di evitare spessori eccessivamente elevati dei pacchetti.


I due pacchetti **B1bb** prevedono invece, la realizzazione di una partizione interna orizzontale non calpestabile, ciò significa che il materiale funziona soltanto da isolante (come nel caso dei dettagli di solai a riempimento, ovvero il gruppo **B1c**).

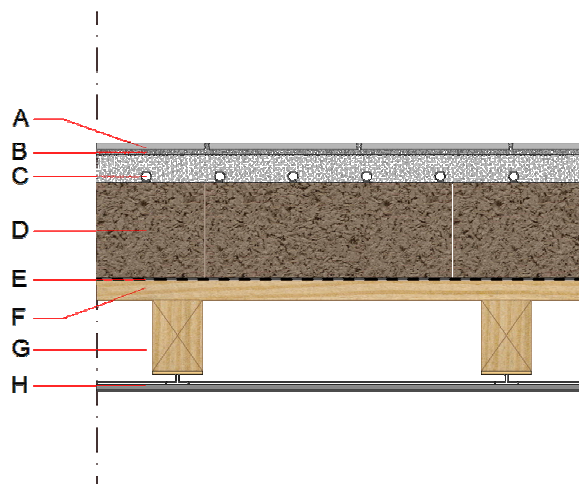
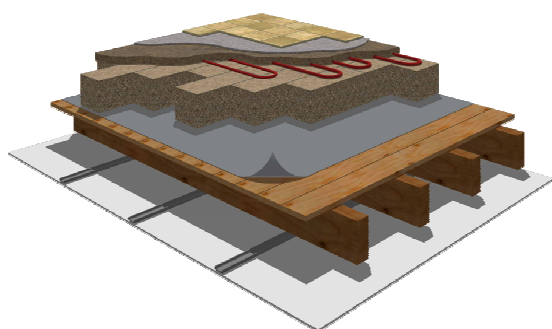
Le stratigrafie **B1c** illustrano i sistemi realizzati con la tecnica costruttiva di riempimento con calcecanapulo 1:1 (0,06 W/mK) o con canapulo sfuso (0,048 W/mK), ovvero i sistemi prefabbricati in legno Legnolego e Xilema.

Il dettaglio B1a1, prevede la posa di una membrana protettiva antipolvere in carta Kraft alla quale vengono posizionati dei blocchi in calcecanapulo, spessi 20 cm, ricoperti da un massetto in calce e sabbia di 6 cm di spessore, contenente l'impianto di riscaldamento a pavimento; lo strato di pavimentazione è realizzato con piastrelle in ceramica che vengono fissate con uno strato di boiaccia di calce di 0,5 centimetri di spessore. Sotto il travetto in legno viene fissato un pannello in gessofibra intonacato di 1,25 centimetri in modo da poter creare un vano per ospitare gli impianti idrici ed elettrici. Il pacchetto presenta uno spessore complessivo di 47,75 centimetri e un valore totale di trasmittanza di 0,26 W/m<sup>2</sup>K.

La variante B1a2 riprende la stessa stratigrafia del pacchetto B1a1 con una pavimentazione in parquet che sostituisce le piastrelle e raggiunge una trasmittanza di 0,25 W/m<sup>2</sup>K; in questo caso, si aumenta lo spessore del massetto in calce e sabbia con il riscaldamento a pavimento fino a 8 centimetri per poter ospitare i magatelli sui quali viene fissato il parquet in legno di 2 cm di spessore. Lo spessore finale del particolare è di 50,25 cm.

## NUOVA COSTRUZIONE

<b>B1a1</b>	<b>PARTIZIONE INTERNA ORIZZONTALE</b> BLOCCHI CON RISCALDAMENTO A PAVIMENTO E PAVIMENTAZIONE IN PIASTRELLE	
-------------	---	---



Caratteristiche termiche e igrometriche dei componenti

Dall'interno verso l'esterno

	Descrizione strato	s [mm]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\lambda$ [W/mK]	C [kcal/kg]	$\mu$	R [m <sup>2</sup> *K/W]	
	Resistenza interna						0,17	
A	piastrelle in ceramica	10	2300	1	0,2	200	0,01	
B	boiaccia di calce	5	1450	0,49	0,25	7,5	0,01	
C	massetto di calce e sabbia con riscaldamento a pavimento	60	1400	0,76	0,25	0,1	0,08	
D	blocchi in calcecanapulo 200x200x500 mm *	200	300	0,07	0,4	4,5	2,86	
E	membrana antipolvere (tipo Kraft)							
F	assito in legno	40	450	0,12	0,65	60	0,33	
G	intercapedine per impianti	150	1,2				0,16	
H	pannelli in gessofibra (tipo Fermacell)	12,5	900	0,32	0,262	4,5	0,04	
	Resistenza esterna						0,17	
Totale		<b>Spessore [mm] =</b>	<b>477,5</b>				<b>Resistenza [m<sup>2</sup>*K/W] =</b>	<b>3,82</b>


<b>1/ R totale [W/m<sup>2</sup>*K]</b>	<b>= Trasmittanza U =</b>	<b>0,26</b>
--	---------------------------	-------------

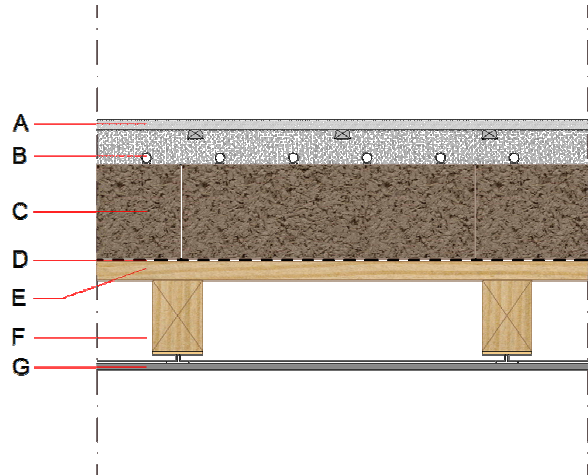
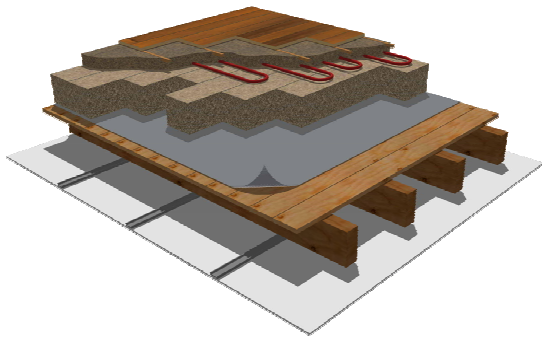
<b>Massa superficiale m [kg/m<sup>2</sup>]</b>	<b>203,68</b>
<b>Coefficiente di sfasamento <math>\Phi</math></b>	<b>16h14'</b>

Trasmittanza massima	dal 1/1/2010	0,32
	per le detrazioni del 55% dal 26/1/2010	0,28

\* Blocco di tipo Equilibrium

## NUOVA COSTRUZIONE

<b>B1a2</b>	<b>PARTIZIONE INTERNA ORIZZONTALE</b> BLOCCHI CON RISCALDAMENTO A PAVIMENTO E PAVIMENTAZIONE IN PARQUET	
-------------	--	---



### Caratteristiche termiche e igrometriche dei componenti

Dall'interno verso l'esterno

	Descrizione strato	s [mm]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\lambda$ [W/mK]	C [kcal/kg]	$\mu$	R [m <sup>2</sup> *K/W]
	Resistenza interna						0,17
A	parquet in rovere inchiodato	20	800	0,17	0,65	43	0,12
B	massetto di calce e sabbia con riscaldamento a pavimento	80	1400	0,76	0,25	0,1	0,11
C	blocchi in calcecanapulo 200x200x500 mm *	200	300	0,07	0,4	4,5	2,86
D	membrana antipolvere (tipo Kraft)						
E	assito in legno	40	450	0,12	0,65	60	0,33
F	intercapedine per impianti	150	1,2				0,16
G	pannelli in gessofibra (tipo Fermacell)	12,5	900	0,32	0,262	4,5	0,04
	Resistenza esterna						0,17
Totale		<b>Spessore [mm] = 502,5</b>					<b>Resistenza [m<sup>2</sup>*K/W] = 3,95</b>

<b>1/ R totale [W/m<sup>2</sup>*K] = Trasmittanza U = 0,25</b>
--

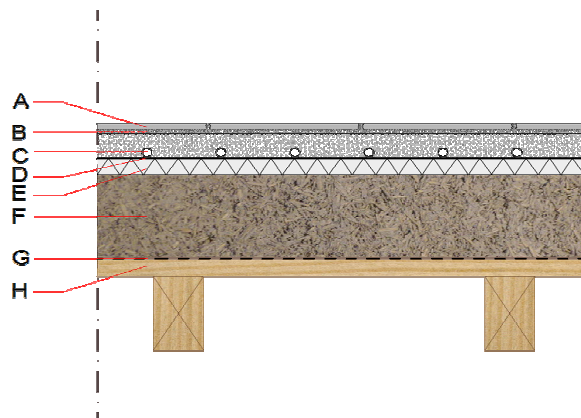
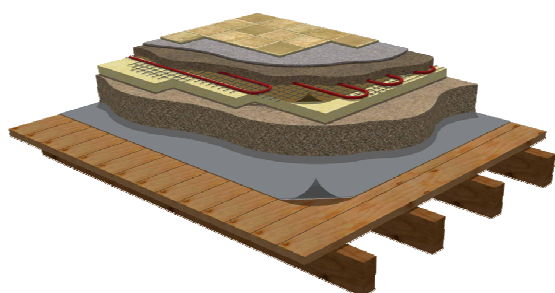
<b>Massa superficiale m [kg/m<sup>2</sup>]</b>	<b>217,43</b>
<b>Coefficiente di sfasamento <math>\Phi</math></b>	<b>17h9'</b>

Trasmittanza massima	dal 1/1/2010	0,32
	per le detrazioni del 55% dal 26/1/2010	0,28

\* Blocco di tipo Equilibrium

## NUOVA COSTRUZIONE

<b>B1ba1</b>	<b>PARTIZIONE INTERNA ORIZZONTALE</b> GETTO SU SUPERFICIE PIANA CALPESTABILE CON RISCALDAMENTO A PAVIMENTO E PAVIMENTAZIONE IN PIASTRELLE	
--------------	--	---



Caratteristiche termiche e igrometriche dei componenti  
Dall'interno verso l'esterno

	Descrizione strato	s [mm]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\lambda$ [W/mK]	C [kcal/kg]	$\mu$	R [m <sup>2</sup> *K/W]
	Resistenza interna						0,17
A	piastrelle in ceramica	10	2300	1	0,2	200	0,01
B	boiacca di calce	5	1450	0,49	0,25	7,5	0,01
C	massetto di calce e sabbia con riscaldamento a pavimento	60	1400	0,76	0,25	0,1	0,08
D	freno al vapore in carta oleata						
E	pannello isolante in fibra di legno (tipo Steico Universal)	40	270	0,048	0,51	5	0,83
F	massetto in calcecanapulo 1:2,75 *	210	500	0,11	0,37	4,8	1,91
G	membrana antipolvere (tipo Kraft)						
H	assito in legno	40	450	0,12	0,65	60	0,33
	Resistenza esterna						0,17
Totale		<b>Spessore [mm] =</b>	<b>365</b>	<b>Resistenza [m<sup>2</sup>*K/W] =</b>			<b>3,51</b>

$$1/R \text{ totale [W/m}^2\text{*K]} = \text{Trasmittanza U} = \mathbf{0,28}$$


<b>Massa superficiale m [kg/m<sup>2</sup>]</b>	<b>248,05</b>
<b>Coefficiente di sfasamento <math>\Phi</math></b>	<b>20h10'</b>

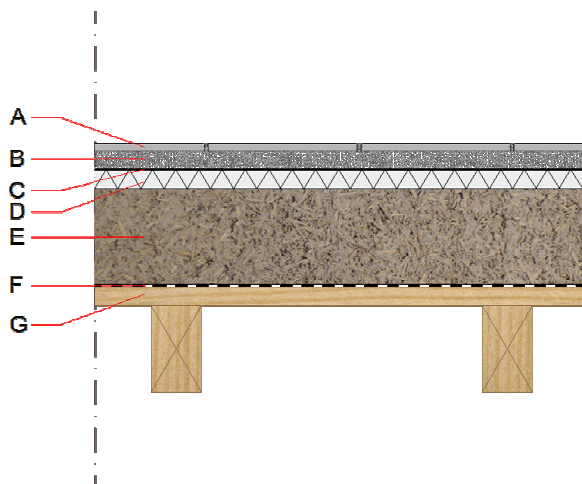
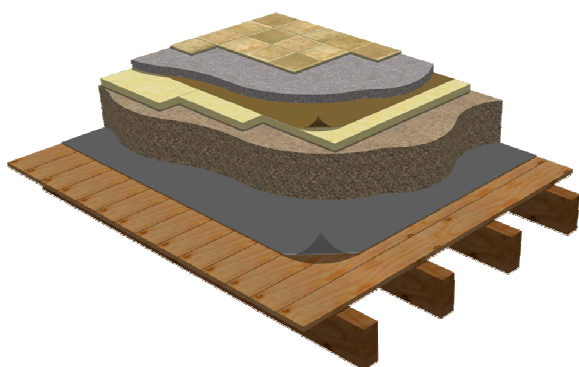
Trasmittanza massima	dal 1/1/2010	0,32
	per le detrazioni del 55% dal 26/1/2010	0,28

\* Miscela Tradical 70® Chanvribat®

La soluzione B1ba1, con spessore di 36,5 cm, prevede la realizzazione di un massetto in calcecanapulo con 21 cm di spessore al quale viene applicato il pannello isolante Steico, di 4 cm, coperto da un freno al vapore. L'impianto di riscaldamento viene posizionato sopra a questo strato, e viene annegato nel massetto protettivo in calce e sabbia spesso 6 cm. L'applicazione della pavimentazione viene eseguita tramite il fissaggio delle piastrelle con 0,5 cm di boiacca di calce. Il valore finale di trasmittanza è di 0,28 W/m<sup>2</sup>K.

## NUOVA COSTRUZIONE

<b>B1ba2</b>	<b>PARTIZIONE INTERNA ORIZZONTALE</b> GETTO SU SUPERFICIE PIANA CALPESTABILE CON PAVIMENTAZIONE IN PIASTRELLE	
--------------	--	---



### Caratteristiche termiche e igrometriche dei componenti

Dall'interno verso l'esterno

	Descrizione strato	s [mm]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\lambda$ [W/mK]	C [kcal/kg]	$\mu$	R [m <sup>2</sup> *K/W]
	Resistenza interna						0,17
A	piastrelle in ceramica	10	2300	1	0,2	200	0,01
B	boiaccia di calce	40	1450	0,49	0,25	7,5	0,08
C	freno al vapore in carta oleata						
D	pannello isolante in fibra di legno (tipo Steico Universal)	40	270	0,048	0,51	5	0,83
E	massetto in calcecanapulo 1:2,75 *	220	500	0,11	0,37	4,8	2,00
F	membrana antipolvere (tipo Kraft)						
G	assito in legno	40	450	0,12	0,65	60	0,33
	Resistenza esterna						0,17
Totale		<b>Spessore [mm] =</b>	<b>350</b>	<b>Resistenza [m<sup>2</sup>*K/W] =</b>			<b>3,60</b>

<b>1/ R totale [W/m<sup>2</sup>*K]</b>	<b>= Trasmittanza U =</b>	<b>0,28</b>
--	---------------------------	-------------

<b>Massa superficiale m [kg/m<sup>2</sup>]</b>	<b>219,80</b>
<b>Coefficiente di sfasamento <math>\Phi</math></b>	<b>19h44'</b>

Trasmittanza massima	dal 1/1/2010	0,32
	per le detrazioni del 55% dal 26/1/2010	0,28

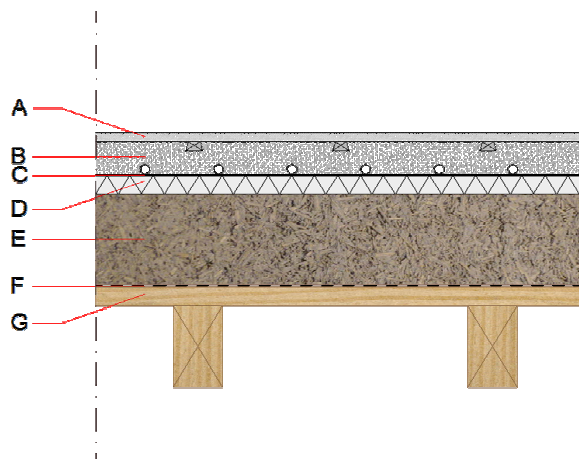
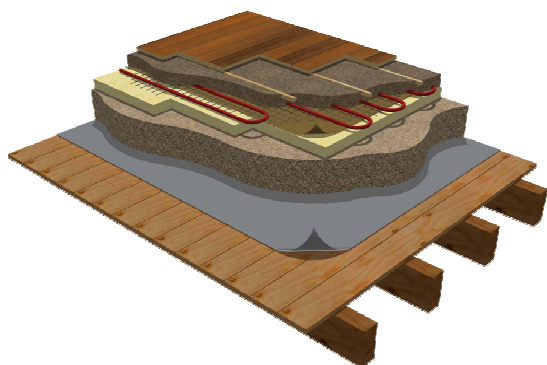
\* Miscela Tradical 70® Chanvribat®

La variante B1ba2, presenta una stratificazione uguale a quella del B1ba1, ma è priva di riscaldamento a pavimento e con spessore di boiaccia di calce sotto le piastrelle di 4 cm; per poter raggiungere la trasmittanza desiderata di 0,28 W/m<sup>2</sup>K lo spessore del massetto in calcecanapulo viene leggermente aumentato fino a 22 cm, arrivando a uno spessore totale di 35 cm.



## NUOVA COSTRUZIONE

<b>B1ba3</b>	<b>PARTIZIONE INTERNA ORIZZONTALE</b> GETTO SU SUPERFICIE PIANA CALPESTABILE CON RISCALDAMENTO A PAVIMENTO E PAVIMENTAZIONE IN PARQUET	
--------------	---	---



Caratteristiche termiche e igrometriche dei componenti  
Dall'interno verso l'esterno

	Descrizione strato	s [mm]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\lambda$ [W/mK]	C [kcal/kg]	$\mu$	R [m <sup>2</sup> *K/W]
	Resistenza interna						0,17
A	parquet in rovere inchiodato	20	800	0,17	0,65	43	0,12
B	massetto di calce e sabbia con riscaldamento a pavimento	80	1400	0,76	0,25	0,1	0,11
C	freno al vapore in carta oleata						
D	pannello isolante in fibra di legno (tipo Steico Universal)	40	270	0,048	0,51	5	0,83
E	massetto in calcecanapulo 1:2,75 *	200	500	0,11	0,37	4,8	1,82
F	membrana antipolvere (tipo Kraft)						
G	assito in legno	40	450	0,12	0,65	60	0,33
	Resistenza esterna						0,17
Totale		<b>Spessore [mm] =</b>	<b>380</b>	<b>Resistenza [m<sup>2</sup>*K/W] =</b>			<b>3,55</b>

$$1/ R \text{ totale [W/m}^2\text{*K]} = \text{Trasmittanza U} = \mathbf{0,28}$$

Massa superficiale m [kg/m <sup>2</sup> ]	<b>256,80</b>
Coefficiente di sfasamento $\Phi$	<b>21h53'</b>

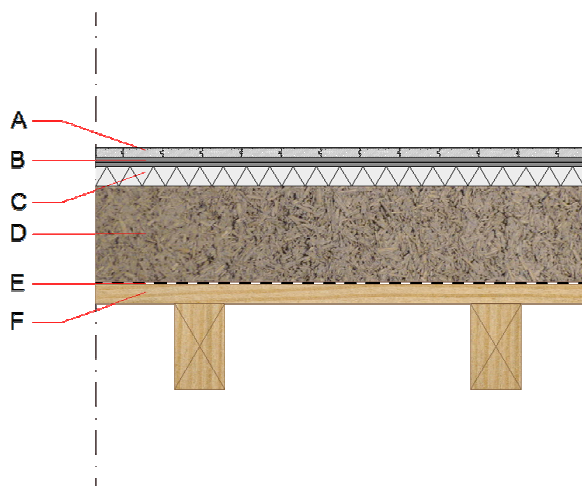
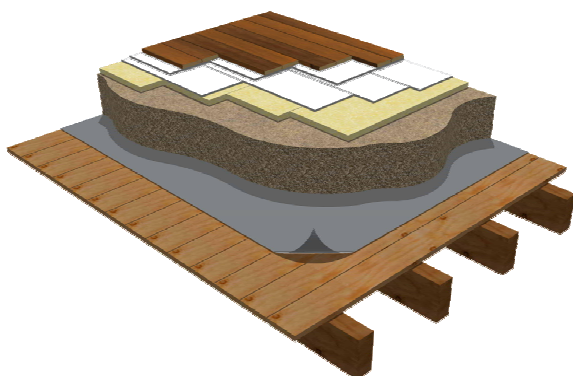
Trasmittanza massima	dal 1/1/2010	0,32
	per le detrazioni del 55% dal 26/1/2010	0,28

\* Miscela Tradical 70® Chanvribat®

La soluzione B1ba3 raggiunge un valore di trasmittanza di 0,28 W/m<sup>2</sup>K con la realizzazione di un massetto in calcecanapulo da 20 cm di spessore sopra al quale viene applicato un pannello isolante Steico, con spessore di 4 cm, coperto con un freno al vapore. La pavimentazione in parquet è realizzata con il sistema inchiodato su magatelli annegati in un massetto di 8 cm in calce e sabbia, contenete anche il riscaldamento a pavimento. Lo spessore totale è di 38 cm.

## NUOVA COSTRUZIONE

<b>B1ba4</b>	<b>PARTIZIONE INTERNA ORIZZONTALE</b> GETTO SU SUPERFICIE PIANA CALPESTABILE CON PAVIMENTAZIONE IN PARQUET	
--------------	---	---



Caratteristiche termiche e igrometriche dei componenti

Dall'interno verso l'esterno

	Descrizione strato	s [mm]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\lambda$ [W/mK]	C [kcal/kg]	$\mu$	R [m <sup>2</sup> *K/W]
	Resistenza interna						0,17
A	parquet in rovere inchiodato	22	800	0,17	0,65	43	0,13
B	2 pannelli in gessofibra (tipo Fermacell)	20	900	0,32	0,262	4,5	0,06
C	pannello isolante in fibra di legno (tipo Steico Universal)	40	270	0,048	0,51	5	0,83
D	massetto in calcecanapulo 1:2,75 *	200	500	0,11	0,37	4,8	1,82
E	membrana antipolvere (tipo Kraft)						
F	assito in legno	40	450	0,12	0,65	60	0,33
	Resistenza esterna						0,17
Totale		<b>Spessore [mm] =</b>	<b>322</b>	<b>Resistenza [m<sup>2</sup>*K/W] =</b>			<b>3,52</b>

<b>1/ R totale [W/m<sup>2</sup>*K]</b>	<b>= Trasmittanza U =</b>	<b>0,28</b>
--	---------------------------	-------------

<b>Massa superficiale m [kg/m<sup>2</sup>]</b>	<b>164,40</b>
<b>Coefficiente di sfasamento <math>\Phi</math></b>	<b>16h46'</b>

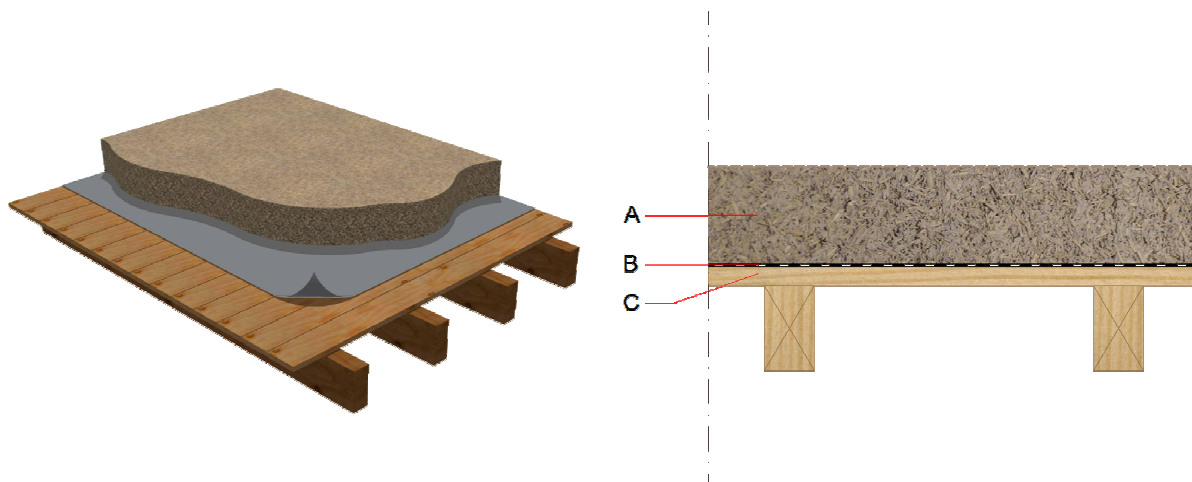
Trasmittanza massima	dal 1/1/2010	0,32
	per le detrazioni del 55% dal 26/1/2010	0,28

\* Miscela Tradical 70® Chanvribat®

Il particolare B1ba4 presenta un sistema di pavimentazione a secco realizzato con due lastre di pannelli in gessofibra Fermacell alle quali è applicato il parquet in rovere; come nel caso precedente, i 20 cm del massetto in calcecanapulo sono sufficienti per raggiungere 0,28 W/m<sup>2</sup>K di trasmittanza, con soli 32,2 cm di spessore.

## NUOVA COSTRUZIONE

<b>B1bb1</b>	<b>PARTIZIONE INTERNA ORIZZONTALE</b> GETTO SU SUPERFICIE PIANA NON CALPESTABILE	
--------------	---	---



Caratteristiche termiche e igrometriche dei componenti

Dall'interno verso l'esterno

	Descrizione strato	s [mm]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\lambda$ [W/mK]	C [kcal/kg]	$\mu$	R [m <sup>2</sup> *K/W]
	Resistenza interna						0,17
A	getto in calcecanapulo 1:1 *	200	250	0,06	0,36	11,5	3,33
B	membrana antipolvere (tipo Kraft)						
C	assito in legno	40	450	0,12	0,65	60	0,33
	Resistenza esterna						0,17
Totale		<b>Spessore [mm] = 240</b>					<b>Resistenza [m<sup>2</sup>*K/W] = 4,01</b>

<b>1/ R totale [W/m<sup>2</sup>*K] = Trasmittanza U = 0,25</b>
--


<b>Massa superficiale m [kg/m<sup>2</sup>]</b>	<b>68,00</b>
<b>Coefficiente di sfasamento <math>\Phi</math></b>	<b>11h54'</b>

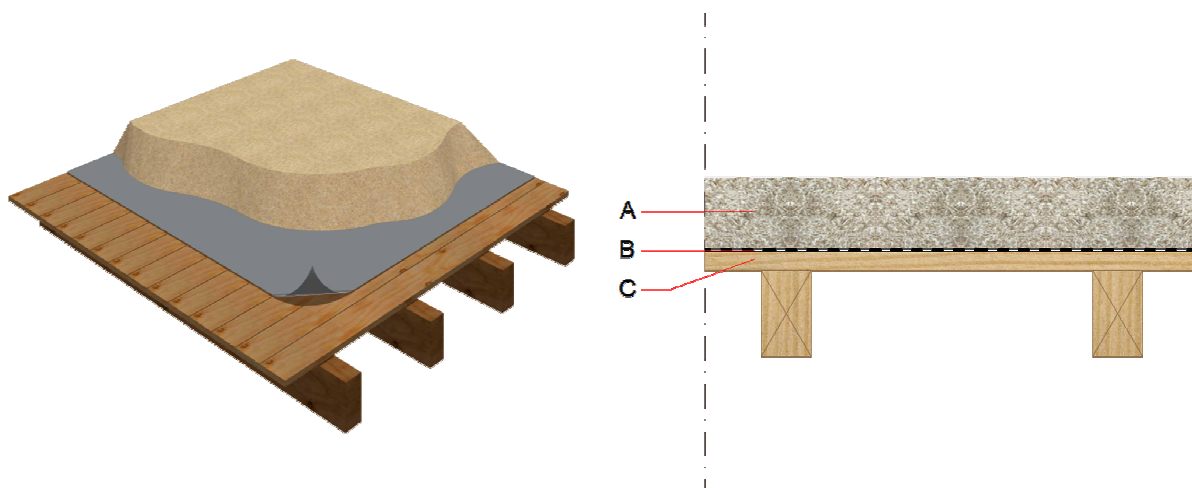
Trasmittanza massima	dal 1/1/2010	0,32
	per le detrazioni del 55% dal 26/1/2010	0,28

\* Miscela Tradical 70® Chanvribat®

La soluzione B1bb1 presenta solo due strati sopra l'assito in legno: il getto di calcecanapulo 1:1 (con conduttività termica di 0,06 W/mK e densità di 250 kg/m<sup>3</sup>) con 20 centimetri di spessore che viene messo in opera sopra a una membrana antipolvere, arrivando così a uno spessore relativamente basso di 24 centimetri con una trasmittanza di 0,25 W/m<sup>2</sup>K.

## NUOVA COSTRUZIONE

<b>B1bb2</b>	<b>PARTIZIONE INTERNA ORIZZONTALE</b> CANAPULO SFUSO SU SUPERFICIE PIANA NON CALPESTABILE	
--------------	--	---



Caratteristiche termiche e igrometriche dei componenti  
 Dall'interno verso l'esterno

	Descrizione strato	s [mm]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\lambda$ [W/mK]	C [kcal/kg]	$\mu$	R [m <sup>2</sup> *K/W]
	Resistenza interna						0,17
A	canapulo sfuso *	150	110	0,048	0,46	1,5	3,13
B	membrana antipolvere (tipo Kraft)						
C	assito in legno	40	450	0,12	0,65	60	0,33
	Resistenza esterna						0,17
Totale		<b>Spessore [mm] =</b>	<b>190</b>	<b>Resistenza [m<sup>2</sup>*K/W] =</b>			<b>3,80</b>

<b>1/ R totale [W/m<sup>2</sup>*K]</b>	<b>= Trasmittanza U =</b>	<b>0,26</b>
--	---------------------------	-------------


<b>Massa superficiale m [kg/m<sup>2</sup>]</b>	<b>34,50</b>
<b>Coefficiente di sfasamento <math>\Phi</math></b>	<b>8h31'</b>

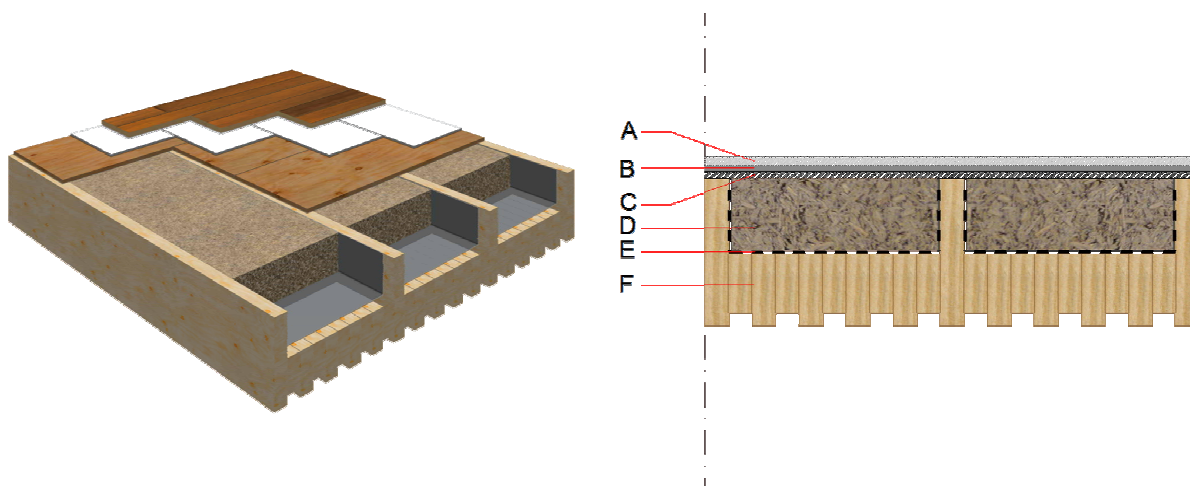
Trasmittanza massima	dal 1/1/2010	0,32
	per le detrazioni del 55% dal 26/1/2010	0,28

\* Canapulo Chanvribat®

La realizzazione della variante B1bb2 prevede semplicemente l'utilizzo di uno strato di soli 15 cm di canapulo sfuso ( $\lambda = 0,048$  W/mK) per isolare il solaio sottotetto non calpestabile in modo da raggiungere un valore di trasmittanza di 0,26 W/m<sup>2</sup>K, con spessore complessivo di 19 cm.

## NUOVA COSTRUZIONE

<b>B1c1</b>	<b>PARTIZIONE INTERNA ORIZZONTALE</b> RIEMPIMENTO DI UN SISTEMA PREFABBRICATO ORIZZONTALE IN LEGNO MASSICCIO (TIPO LEGOLEGNO) CON CALCECANAPULO	
-------------	---	---



Caratteristiche termiche e igrometriche dei componenti  
 Dall'interno verso l'esterno

	Descrizione strato	s [mm]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\lambda$ [W/mK]	C [kcal/kg]	$\mu$	R [m <sup>2</sup> *K/W]
	Resistenza interna						0,17
A	parquet in rovere inchiodato	20	800	0,17	0,65	43	0,12
B	pannello in gessofibra (tipo Fermacell)	12,5	900	0,32	0,262	4,5	0,04
C	pannello in legno in abete	15	450	0,18	0,65	20	0,08
D	calcecanapulo 1:1 a secco *	150	250	0,06	0,36	11,5	2,50
E	membrana antipolvere (tipo Kraft)						
F	struttura portante in abete massiccio	140	450	0,18	0,262	4,5	0,78
	Resistenza esterna						0,17
Totale		<b>Spessore [mm] = 337,5</b>					<b>Resistenza [m<sup>2</sup>*K/W] = 3,86</b>

**1/ R totale [W/m<sup>2</sup>\*K] = Trasmittanza U = 0,26**


<b>Massa superficiale m [kg/m<sup>2</sup>]</b>	<b>134,50</b>
<b>Coefficiente di sfasamento <math>\Phi</math></b>	<b>15h10'</b>

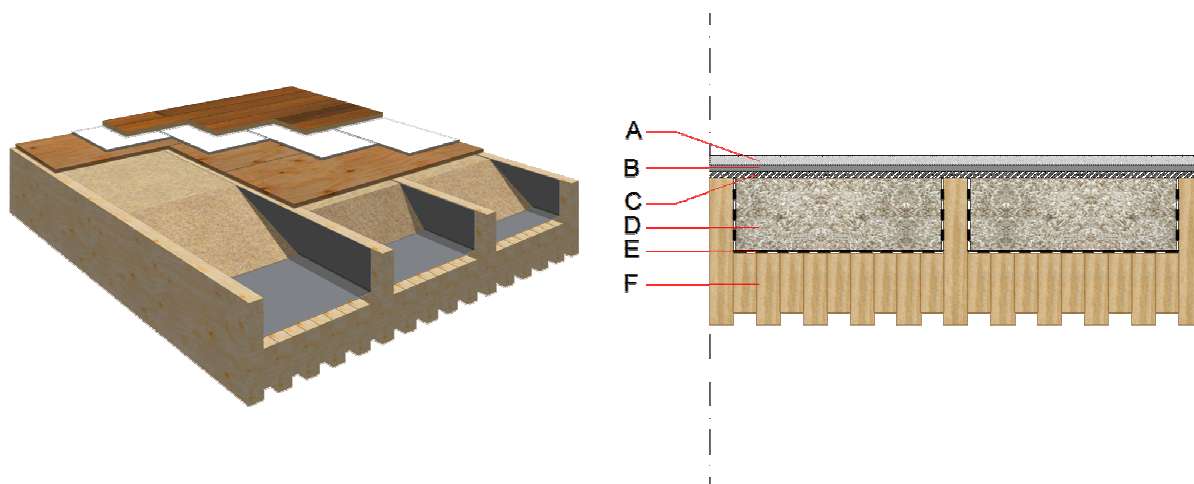
Trasmittanza massima	dal 1/1/2010	0,32
	per le detrazioni del 55% dal 26/1/2010	0,28

\* Miscela Tradical 70® Chanvribat®

Il pacchetto costruttivo B1c1, con spessore di 33,75 cm è composto da un modulo Legnolego spesso 14 cm con vano per gli impianti tecnici alto 15 cm, riempito con calcecanapulo 1:1. Sull'assito viene appoggiata una membrana antipolvere che copre i costoloni. Il pacchetto viene chiuso con un pannello in legno da 1,5 cm al quale si va ad aggiungere un pannello in gessofibra Fermacell di 1,25 cm in modo da poter realizzare il pavimento a secco in parquet. La struttura presenta un valore totale di trasmittanza di 0,26 W/m<sup>2</sup>K.

## NUOVA COSTRUZIONE

<b>B1c2</b>	<b>PARTIZIONE INTERNA ORIZZONTALE</b> RIEMPIMENTO DI UN SISTEMA PREFABBRICATO ORIZZONTALE IN LEGNO MASSICCIO (TIPO LEGOLEGNO) CON CANAPULO SFUSO	
-------------	--	---



Caratteristiche termiche e igrometriche dei componenti

Dall'interno verso l'esterno

	Descrizione strato	s [mm]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\lambda$ [W/mK]	C [kcal/kg]	$\mu$	R [m <sup>2</sup> *K/W]
	Resistenza interna						0,17
A	parquet in rovere inchiodato	20	800	0,17	0,65	43	0,12
B	pannello in gessofibra (tipo Fermacell)	12,5	900	0,32	0,262	4,5	0,04
C	pannello in legno in abete	15	450	0,18	0,65	20	0,08
D	canapulo sfuso *	120	110	0,048	0,46	1,5	2,50
E	membrana antipolvere (tipo Kraft)						
F	struttura portante in abete massiccio	140	450	0,18	0,262	4,5	0,78
	Resistenza esterna						0,17
Totale		<b>Spessore [mm] =</b>	<b>307,5</b>		<b>Resistenza [m<sup>2</sup>*K/W] =</b>		<b>3,86</b>

<b>1/ R totale [W/m<sup>2</sup>*K]</b>	<b>= Trasmittanza U =</b>	<b>0,26</b>
--	---------------------------	-------------


<b>Massa superficiale m [kg/m<sup>2</sup>]</b>	<b>103,45</b>
<b>Coefficiente di sfasamento <math>\Phi</math></b>	<b>14h14'</b>

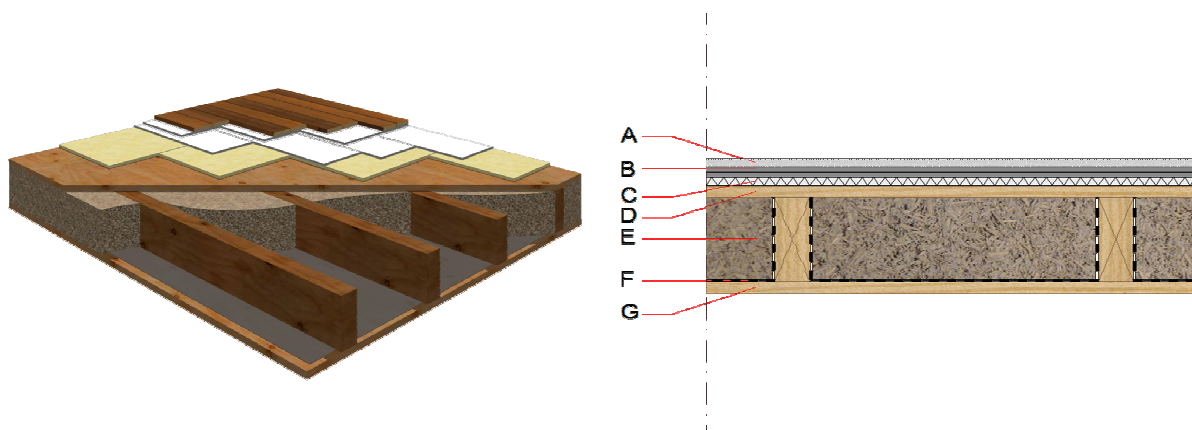
Trasmittanza massima	dal 1/1/2010	0,32
	per le detrazioni del 55% dal 26/1/2010	0,28

\* Canapulo Chanvribat®

La variante B1c2 presenta la stessa stratificazione del pacchetto precedente e raggiunge un valore di trasmittanza uguale (0,26 W/m<sup>2</sup>K) ma prevede il riempimento del vano tecnico del modulo con canapulo sfuso (0,048 W/mK) con uno spessore ridotto, ovvero di 12 cm; lo spessore finale del pacchetto è di 30,75 centimetri.

## NUOVA COSTRUZIONE

<b>B1c3</b>	<b>PARTIZIONE INTERNA ORIZZONTALE</b> RIEMPIMENTO DI UN SISTEMA A TELAIO PREFABBRICATO ORIZZONTALE CON CALCECANAPULO	
-------------	---	---



Caratteristiche termiche e igrometriche dei componenti  
Dall'interno verso l'esterno

	Descrizione strato	s [mm]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\lambda$ [W/mK]	C [kcal/kg]	$\mu$	R [m <sup>2</sup> *K/W]
	Resistenza interna						0,17
A	parquet in rovere inchiodato	20	800	0,17	0,65	43	0,12
B	2 pannelli in gessofibra (tipo Fermacell)	25	900	0,32	0,262	4,5	0,08
C	pannello isolante in fibra di legno (tipo Steico Underfloor)	8	250	0,05	0,51	5	0,16
D	assito in legno	27	450	0,12	0,65	60	0,23
E	calcecanapulo 1:1 a secco *	200	250	0,06	0,36	11,5	3,33
F	membrana antipolvere (tipo Kraft)						
G	assito in legno	27	450	0,12	0,65	60	0,23
	Resistenza esterna						0,17
Totale		<b>Spessore [mm] = 307</b>					<b>Resistenza [m<sup>2</sup>*K/W] = 4,48</b>

$$1/ R \text{ totale [W/m}^2\text{*K]} = \text{Trasmittanza } U = \mathbf{0,22}$$


Massa superficiale m [kg/m <sup>2</sup> ]	<b>114,80</b>
Coefficiente di sfasamento $\Phi$	<b>13h30'</b>

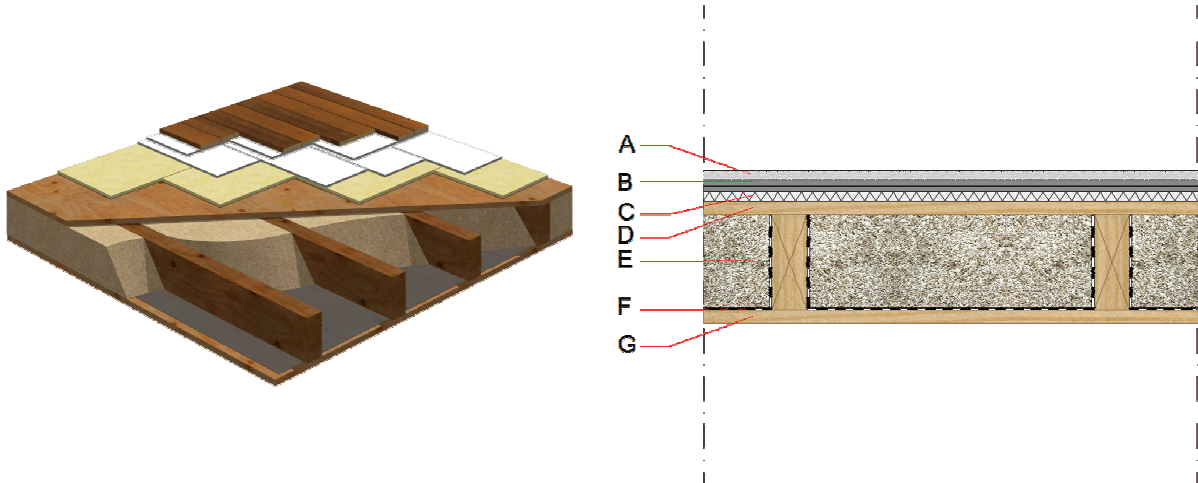
Trasmittanza massima	dal 1/1/2010	0,32
	per le detrazioni del 55% dal 26/1/2010	0,28

\* Miscela Tradical 70® Chanvribat®

Il particolare B1c3 (30,7 cm) realizzato con il sistema prefabbricato a telaio, prevede che il calcecanapulo venga racchiuso fra due assiti in legno spessi 2,7 cm ciascuno. Sopra all'assito inferiore viene applicata una membrana antipolvere. All'assito superiore va invece aggiunto un'ulteriore strato fonisolante: un pannello rigido in fibra di legno tipo Steico Underfloor da 0,8 centimetri. Il pavimento a secco è composto da due pannelli in gessofibra da 2,5 centimetri e rivestito con parquet in rovere. Con tale sistema è possibile raggiungere un valore di trasmittanza di 0,22 W/m<sup>2</sup>K.

## NUOVA COSTRUZIONE

<b>B1c4</b>	<b>PARTIZIONE INTERNA ORIZZONTALE</b> RIEMPIMENTO DI UN SISTEMA A TELAIO PREFABBRICATO ORIZZONTALE CON CANAPULO SFUSO	
-------------	--	---



Caratteristiche termiche e igrometriche dei componenti  
 Dall'interno verso l'esterno

	Descrizione strato	s [mm]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\lambda$ [W/mK]	C [kcal/kg]	$\mu$	R [m <sup>2</sup> *K/W]
	Resistenza interna						0,17
A	parquet in rovere inchiodato	20	800	0,17	0,65	43	0,12
B	2 pannelli in gessofibra (tipo Fermacell)	25	900	0,32	0,262	4,5	0,08
C	pannello isolante in fibra di legno (tipo Steico Underfloor)	8	250	0,05	0,51	5	0,16
D	assito in legno	27	450	0,12	0,65	60	0,23
E	canapulo sfuso *	200	110	0,048	0,46	1,5	4,17
F	membrana antipolvere (tipo Kraft)						
G	assito in legno	27	450	0,12	0,65	60	0,23
	Resistenza esterna						0,17
Totale		<b>Spessore [mm] = 307</b>					<b>Resistenza [m<sup>2</sup>*K/W] = 5,31</b>

<b>1/ R totale [W/m<sup>2</sup>*K] = Trasmittanza U = 0,19</b>
--

Massa superficiale m [kg/m <sup>2</sup> ]	<b>86,80</b>
Coefficiente di sfasamento $\Phi$	<b>11h49'</b>

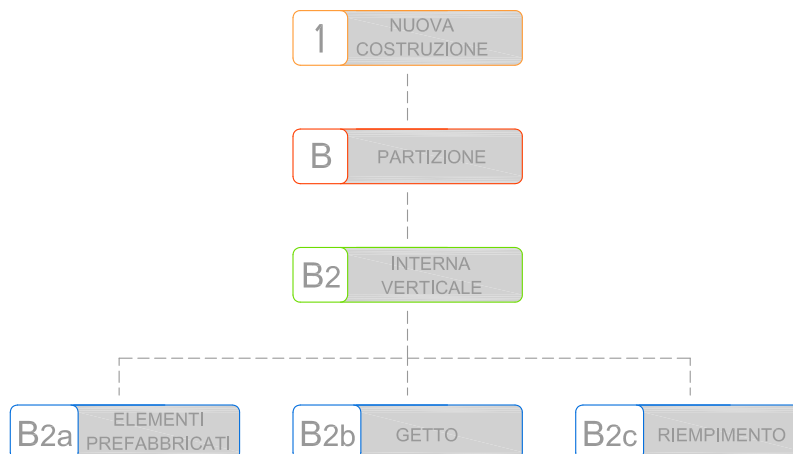
Trasmittanza massima	dal 1/1/2010	0,32
	per le detrazioni del 55% dal 26/1/2010	0,28

\* Canapulo Chanvribat®

La struttura B1c4 riprende la stratigrafia del pacchetto precedente ma con riempimento isolante in canapulo sfuso; con uno spessore uguale il valore di trasmittanza raggiunto è di 0,19 W/m<sup>2</sup>K. Si nota che il pacchetto presenta però una massa superficiale piuttosto bassa (86,80 kg/m<sup>2</sup>) e potrebbe necessitare un aumento di spessore.



#### 4.4.1.5 PARTIZIONE INTERNA VERTICALE



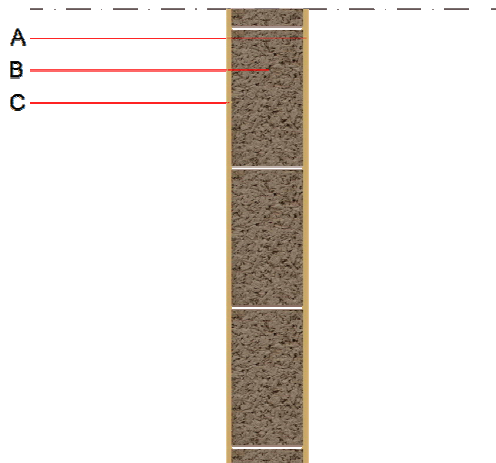
I particolari costruttivi con il codice **B2** rappresentano le partizioni interne verticali. Per tali pacchetti viene riportata la stratigrafia muraria, tuttavia, non viene calcolata la trasmittanza termica  $U$ .

I pacchetti con il codice **B2a** si riferiscono alle tecnica costruttiva in elementi prefabbricati e nello specifico, l'uso di blocchi prefabbricati in calcecanapulo per la realizzazione di pareti interne di tamponamento con l'uso di blocchi Equilibrium ( $\lambda = 0,07 \text{ W/mK}$ ).

Il gruppo **B2b** prevede la realizzazione della partizione verticale con la tecnica costruttiva in getto in calcecanapulo 1:2,2 (densità di  $420 \text{ Kg/m}^3$ , conduttività termica di  $0,1 \text{ W/mK}$ ).

Il codice **B2c** si riferisce ai sistemi di riempimento fra pannelli per strutture intelaiate in legno o in ferro zincato, con le quali viene impiegato un getto di calcecanapulo 1:1 (densità di  $250 \text{ Kg/m}^3$ , conduttività termica di  $0,06 \text{ W/mK}$ ) che le conferisce la funzione isolante.

<b>B2a1</b>	<b>PARTIZIONE INTERNA VERTICALE</b> MURATURA IN BLOCCHI PREDABBRICATI	
-------------	--	---



Caratteristiche termiche e igrometriche dei componenti opachi

	Descrizione strato	s [mm]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\lambda$ [W/mK]	C [kcal/kg]	$\mu$	R [m <sup>2</sup> *K/W]
A	intonaco in calcecanapulo 1:4,5 *	10	650	0,17	0,28		0,06
B	blocchi in calcecanapulo 150x200x500 mm **	150	320	0,07	0,425	4,5	2,14
D	intonaco in calcecanapulo 1:4,5 *	10	650	0,17	0,28		0,06
Totale		<b>Spessore [mm] =</b>	<b>170</b>	<b>Resistenza [m<sup>2</sup>*K/W] =</b>			<b>2,26</b>

\* Miscela Tradical 70® Chanvribat®

\*\* Blocco di tipo Equilibrium

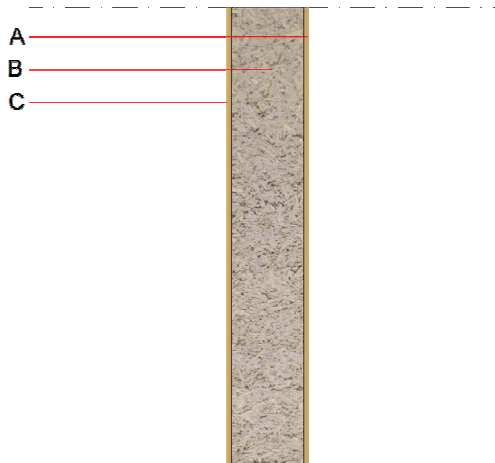
Il pacchetto B2a1 prevede la realizzazione di una parete di tamponamento interna in blocchi di calcecanapulo con spessore di 15 cm, fissati ad una struttura in legno. Essi vengono intonacati sui due lati con un intonaco di finitura in calcecanapulo 1;4,5 con uno spessore di 1 cm e conduttività termica pari a 0,17 W/mK. Lo spessore totale è di soli 17 cm.

## NUOVA COSTRUZIONE

**B2b1**

PARTIZIONE INTERNA VERTICALE

MURATURA IN GETTO




Caratteristiche termiche e igrometriche dei componenti opachi

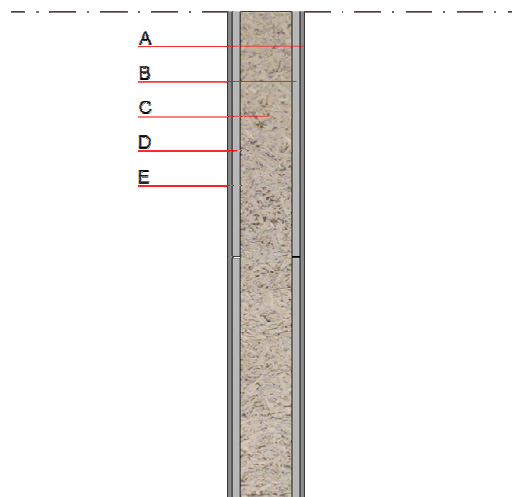
	Descrizione strato	s [mm]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\lambda$ [W/mK]	C [kcal/kg]	$\mu$	R [m <sup>2</sup> *K/W]
A	intonaco in calcecanapulo 1:4,5 *	10	650	0,17	0,28		0,06
B	getto in calcecanapulo 1:2,2 *	150	420	0,1	0,36	4,8	1,50
C	intonaco in calcecanapulo 1:4,5 *	10	650	0,17	0,28		0,06
Totale		<b>Spessore [mm] =</b>	<b>170</b>	<b>Resistenza [m<sup>2</sup>*K/W] =</b>			<b>1,62</b>

\* Miscela Tradical 70® Chanvribat®

Il seguente dettaglio B2b1, con spessore di 17 cm, prevede l'utilizzo della tecnica costruttiva a getto, per la realizzazione della parete di tamponamento in calcecanapulo 1:2,2 di 15 cm di spessore, intonacata con calcecanapulo di finitura di 1 cm. Lo spessore complessivo della struttura é di 17 cm

## NUOVA COSTRUZIONE

<b>B2c1</b>	<b>PARTIZIONE INTERNA VERTICALE</b>	
	RIEMPIMENTO FRA PANNELLI	



Caratteristiche termiche e igrometriche dei componenti opachi

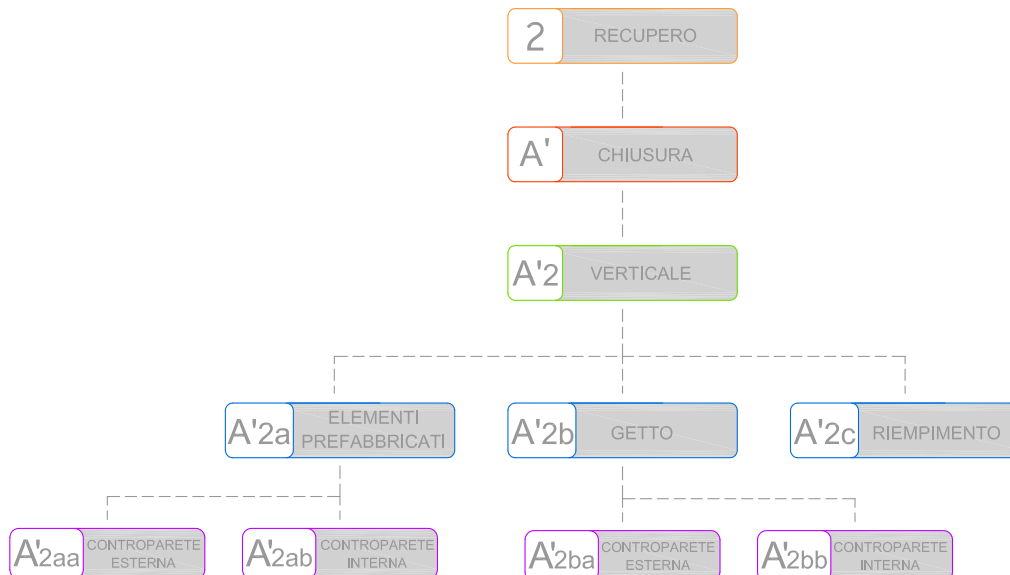
	Descrizione strato	s [mm]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\lambda$ [W/mK]	C [kcal/kg]	$\mu$	R [m <sup>2</sup> *K/W]
A	finitura in gessofibra	10	1150	0,17	0,32	0,262	0,06
B	pannello rigido in legnomagnesite (tipo Fermacell)	15	1150	0,32	0,27	4,5	0,05
C	getto in calcecanapulo 1:1 *	150	250	0,06	0,36	11,5	2,50
D	pannello rigido in legnomagnesite (tipo Fermacell)	15	1150	0,32	0,27	4,5	0,05
E	finitura in gessofibra	10	1150	17	0,32	0,262	0,00
Totale		<b>Spessore [mm] =</b>	<b>200</b>	<b>Resistenza [m<sup>2</sup>*K/W] =</b>			<b>2,65</b>

\* Miscela Tradical 70® Chanvribat®

La soluzione B2c1 prevede uno spessore totale di 20 cm di cui 15 per la parte strutturale riempita nell'intercapedine con il calcecanapulo. I due lati della parete vengono tamponati con un pannello Megapan di 1,5 centimetri fissato ai montanti, rivestito con pannello di finitura in gessofibra di 1 cm.

## 4.4.2 RECUPERO

### 4.4.2.1 CHIUSURA VERTICALE




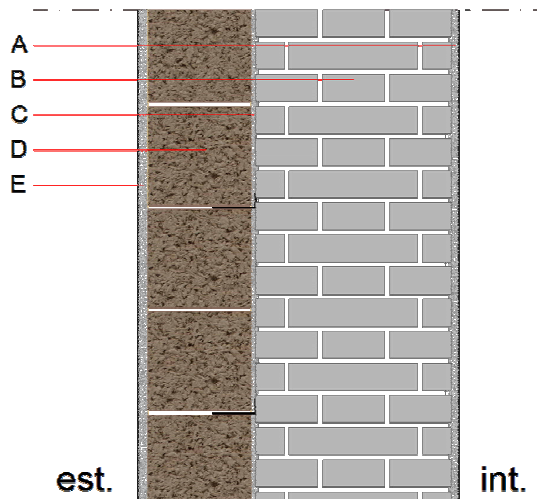
I pacchetti con il codice **A'2a** si riferiscono alle tecnica costruttiva in blocchi prefabbricati e nello specifico, l'utilizzo di blocchi Equilibrium ( $\lambda= 0,07 \text{ W/mK}$ ) di vari spessori per il miglioramento termico delle chiusure verticali esistenti. Tale gruppo si divide in: interventi di recupero all'esterno di murature esistenti in laterizio (**A'1aa**) o interventi realizzati all'interno di pareti di pietra (**A'1ba**), in modo da poter lasciare la pietra a vista.

Le soluzioni del gruppo **A'2b** prevedono la realizzazione delle contropareti per le chiusure verticali con la tecnica costruttiva in getto in calcecanapulo 1:2,2 (densità di  $420 \text{ Kg/m}^3$ , conduttività termica di  $0,1 \text{ W/mK}$ ). Per tali pacchetti è prevista l'applicazione di un sistema di aggrappo della controparete alla parete esistente con l'impiego di bacchette di bambù. Va notato che lo spessore massimo della controparete non supera i 20 cm per evitare gli spessori eccessivamente elevati. Una suddivisione ulteriore presenta la differenziazione fra interventi di recupero esterni (**A'2ba**) o interni (**A'2bb**).

I due particolari **A'2c** prendono in considerazione l'impiego della tecnica di riempimento in abbinamento con muratura a doppia parete realizzati in laterizio, con le quali viene impiegato un getto di calcecanapulo 1:1 (densità di  $250 \text{ Kg/m}^3$ , conduttività termica di  $0,06 \text{ W/mK}$ ) che le conferisce la funzione isolante.

## RECUPERO

<b>A'2aa1</b>	<b>CHIUSURA VERTICALE</b> CONTROPARETE ESTERNA IN BLOCCHI SU MURATURA IN MATTONI PIENI	
---------------	---	---



Caratteristiche termiche e igrometriche dei componenti opachi  
 Dall'interno verso l'esterno

	Descrizione strato	s [mm]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\lambda$ [W/mK]	C [kcal/kg]	$\mu$	R [m <sup>2</sup> *K/W]
	Resistenza interna						0,13
A	intonaco esistente in calceceamento	15	1800	0,9	0,25	20	0,02
B	muratura in mattoni pieni 120x240x55 mm	380	1700	0,7	0,2	10	0,54
C	malta di calce e sabbia	5	1600	0,8	0,28	6	0,01
D	blocchi in calcecanapulo 200x200x500 mm *	200	320	0,072	0,425	4,5	2,78
E	intonaco di calce e sabbia	20	1600	0,8	0,28	6	0,03
	Resistenza esterna						0,04
Totale		<b>Spessore [mm] =</b>	<b>620</b>	<b>Resistenza [m<sup>2</sup>*K/W] =</b>			<b>3,54</b>

$$1/R \text{ totale [W/m}^2\text{*K]} = \text{Trasmittanza } U = \mathbf{0,28}$$

Massa superficiale m [kg/m <sup>2</sup> ]	<b>777,00</b>
Coefficiente di sfasamento $\Phi$	<b>23h27'</b>

Trasmittanza massima	dal 1/1/2010	0,33
	per le detrazioni del 55% dal 26/1/2010	0,26

\* Blocco di tipo Equilibrium

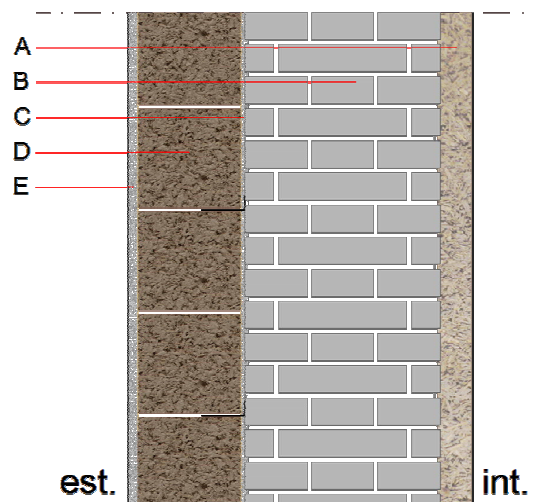
Il particolare costruttivo A'2aa1 prevede la realizzazione di una controparete esterna in blocchi di calcecanapulo spessi 20 cm contro una muratura esistente in mattoni pieni. Viene applicato uno strato di malta di calce e sabbia di 0,5 cm sulla faccia esterna della parete e successivamente i blocchi vengono fissati con delle staffe metalliche. La finitura esterna viene realizzata in intonaco di calce e sabbia per raggiungere una trasmittanza di 0,28 W/m<sup>2</sup>\*K. Lo spessore finale del pacchetto è di 62 cm.

## RECUPERO

### A'2aa2

#### CHIUSURA VERTICALE

CONTROPARETE ESTERNA IN BLOCCHI SU MURATURA IN MATTONI PIENI



Caratteristiche termiche e igrometriche dei componenti opachi  
Dall'interno verso l'esterno

	Descrizione strato	s [mm]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\lambda$ [W/mK]	C [kcal/kg]	$\mu$	R [m <sup>2</sup> *K/W]
	Resistenza interna						0,13
A	intonaco isolante e rasatura in calcecanapulo 1:4,5 (60+5 mm) *	65	650	0,17	0,28		0,38
B	muratura in mattoni pieni 120x240x55 mm	380	1700	0,7	0,2	10	0,54
C	malta di calce e sabbia	5	1600	0,8	0,28	6	0,01
D	blocchi in calcecanapulo 200x200x500 mm **	200	320	0,072	0,425	4,5	2,78
E	intonaco di calce e sabbia	20	1600	0,8	0,28	6	0,03
	Resistenza esterna						0,04
Totale		<b>Spessore [mm] = 670</b>					<b>Resistenza [m<sup>2</sup>*K/W] = 3,90</b>

$$1/R \text{ totale [W/m}^2\text{*K]} = \text{Trasmittanza } U = 0,26$$

Massa superficiale m [kg/m <sup>2</sup> ]	<b>792,25</b>
Coefficiente di sfasamento $\Phi$	<b>23h50'</b>


Trasmittanza massima	dal 1/1/2010	0,33
	per le detrazioni del 55% dal 26/1/2010	0,26

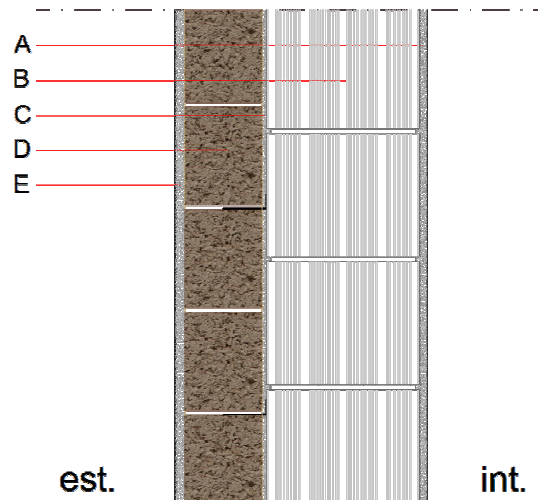
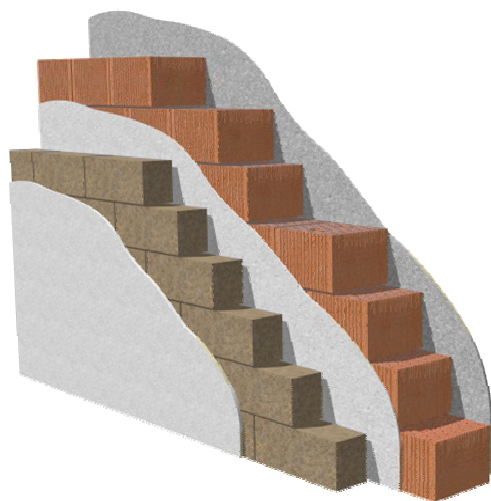
\* Miscela Tradical 70® Chanvribat®

\*\* Blocco di tipo Equilibrium

Il particolare costruttivo A'2aa2 prevede la realizzazione di una controparete esterna in blocchi di calcecanapulo spessi 20 cm contro una muratura esistente in mattoni pieni. Viene applicato uno strato di malta di calce e sabbia di 0,5 cm sulla faccia esterna della parete e successivamente i blocchi vengono fissati con delle staffe metalliche. La finitura esterna viene realizzata in intonaco di calce e sabbia per raggiungere una trasmittanza di 0,28 W/m<sup>2</sup>K. Lo spessore finale del pacchetto è di 62 cm.

## RECUPERO

<b>A'2aa3</b>	<b>CHIUSURA VERTICALE</b> CONTROPARETE ESTERNA IN BLOCCHI CON DOGHE IN LEGNO SU MURATURA IN MATTONI FORATI	
---------------	--	---



Caratteristiche termiche e igrometriche dei componenti opachi  
 Dall'interno verso l'esterno

	Descrizione strato	s [mm]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\lambda$ [W/mK]	C [kcal/kg]	$\mu$	R [m <sup>2</sup> *K/W]
	Resistenza interna						0,13
A	intonaco esistente in calceceamento	15	1800	0,9	0,25	20	0,02
B	muratura in mattoni forati 300x250x250 mm	300	685	0,201	0,28	15	1,49
C	malta di calce e sabbia	5	1600	0,8	0,28	6	0,01
D	blocchi in calcecanapulo 150x200x500 mm *	150	320	0,072	0,425	4,5	2,08
E	intonaco di calce e sabbia	20	1600	0,8	0,28	6	0,03
	Resistenza esterna						0,04
Totale		<b>Spessore [mm] = 490</b>					<b>Resistenza [m<sup>2</sup>*K/W] = 3,79</b>

$$1/ R \text{ totale [W/m}^2\text{*K]} = \text{Trasmittanza } U = 0,26$$

Massa superficiale m [kg/m <sup>2</sup> ]	<b>320,50</b>
Coefficiente di sfasamento $\Phi$	<b>17h51'</b>

Trasmittanza massima	dal 1/1/2010	0,33
	per le detrazioni del 55% dal 26/1/2010	0,26

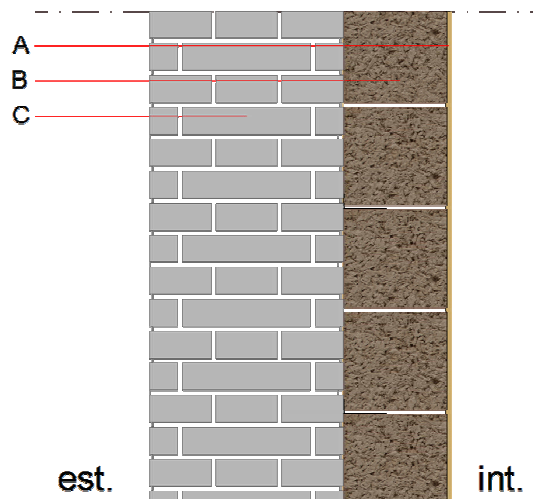
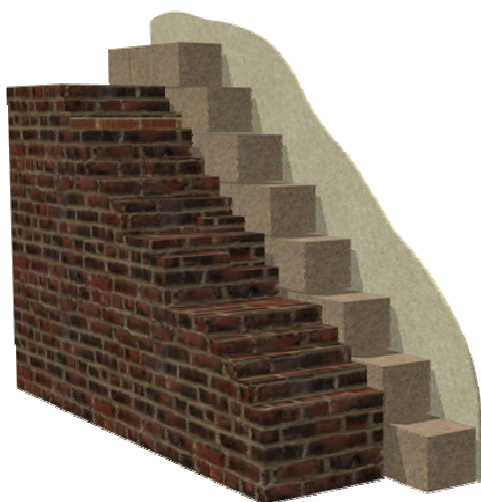
\* Blocco di tipo Equilibrium

Per il miglioramento termico di una muratura portante in mattoni forati, vengono utilizzati i blocchi prefabbricati in calcecanapulo con uno spessore di 15 cm, posati come descritto nei due pacchetti precedenti. Il particolare A'2aa3 presenta uno spessore di 49 cm con trasmittanza termica di 0,26 W/m<sup>2</sup>K.



## RECUPERO

<b>A'2ab1</b>	<b>CHIUSURA VERTICALE</b> CONTROPARETE INTERNA IN BLOCCHI SU MURATURA IN MATTONI PIENI	
---------------	---	---



Caratteristiche termiche e igrometriche dei componenti opachi  
Dall'interno verso l'esterno

	Descrizione strato	s [mm]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\lambda$ [W/mK]	C [kcal/kg]	$\mu$	R [m <sup>2</sup> *K/W]
	Resistenza interna						0,13
A	intonaco in calcecanapulo 1:4,5 *	10	650	0,17	0,28		0,06
B	blocchi in calcecanapulo 200x200x500 mm **	200	320	0,072	0,425	4,5	2,78
C	muratura in mattoni pieni 120x240x55 mm	380	1700	0,7	0,2	10	0,54
	Resistenza esterna						0,04
Totale		<b>Spessore [mm] =</b>	<b>590</b>	<b>Resistenza [m<sup>2</sup>*K/W] =</b>			<b>3,55</b>

$$1/ R \text{ totale [W/m}^2\text{*K]} = \text{Trasmittanza } U = \mathbf{0,28}$$


Massa superficiale m [kg/m <sup>2</sup> ]	<b>716,50</b>
Coefficiente di sfasamento $\Phi$	<b>22h17'</b>

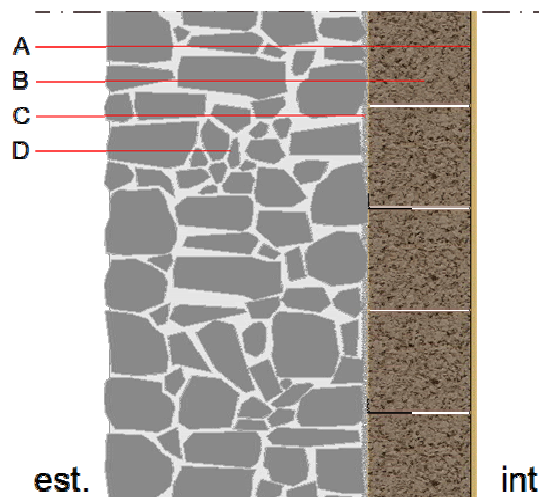
Trasmittanza massima	dal 1/1/2010	0,33
	per le detrazioni del 55% dal 26/1/2010	0,26

\* Miscela Tradical 70® Chanvribat®  
\*\* Blocco di tipo Equilibrium

Nel dettaglio costruttivo A'2ab1, di 59 cm, l'isolamento termico della muratura in laterizi pieni a faccia a vista viene realizzato applicando i blocchi in calcecanapulo con spessore di 20 cm all'interno della parete. I blocchi vengono rivestiti con 1 cm di intonaco in calcecanapulo e il valore di trasmittanza raggiunge gli 0,28 W/m<sup>2</sup>K.

## RECUPERO

<b>A'2ab2</b>	<b>CHIUSURA VERTICALE</b> CONTROPARETE INTERNA IN BLOCCHI SU MURATURA IN PIETRA	
---------------	--	---



Caratteristiche termiche e igrometriche dei componenti opachi  
Dall'interno verso l'esterno

	Descrizione strato	s [mm]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\lambda$ [W/mK]	C [kcal/kg]	$\mu$	R [m <sup>2</sup> *K/W]
	Resistenza interna						0,13
A	intonaco in calcecanapulo 1:4,5 *	10	650	0,17	0,28		0,06
B	blocchi in calcecanapulo 200x200x500 mm **	200	320	0,072	0,425	4,5	2,78
C	malta di calce e sabbia	5	1600	0,8	0,28	6	0,01
D	muratura in pietra granitica	500	1740	2,25	0,2	1000	0,22
	Resistenza esterna						0,04
Totale		<b>Spessore [mm] =</b>	<b>715</b>		<b>Resistenza [m<sup>2</sup>*K/W] =</b>		<b>3,24</b>

$$1/ R \text{ totale [W/m}^2\text{*K]} = \text{Trasmittanza } U = \mathbf{0,31}$$

Massa superficiale m [kg/m <sup>2</sup> ]	<b>948,50</b>
Coefficiente di sfasamento $\Phi$	<b>21h44'</b>


Trasmittanza massima	dal 1/1/2010	0,33
	per le detrazioni del 55% dal 26/1/2010	0,26

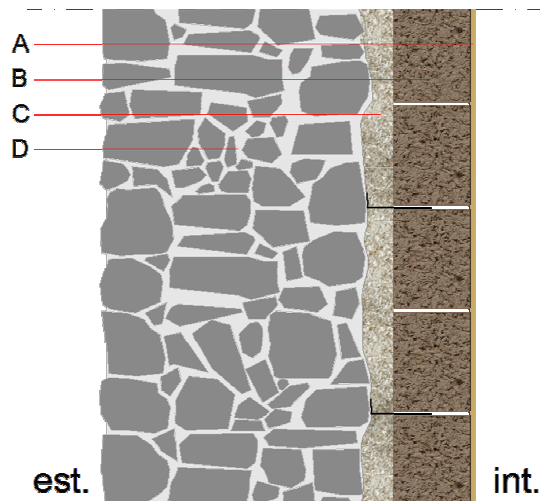
\* Miscela Tradical 70® Chanvribat®

\*\* Blocco di tipo Equilibrium

Gli interventi di recupero delle murature in pietra prevedono la realizzazione della controparete per l'isolamento all'interno del muro, al fine di lasciare la pietra a vista. Dopo l'applicazione interna di una malta di calce e sabbia per il livellamento della pietra, vengono posati i blocchi in calcecanapulo da 20 cm, fissati al muro mediante le staffe metalliche e intonacati con 1 cm di calcecanapulo 1:4,5. Il valore finale della trasmittanza termica è di 0,31 W/m<sup>2</sup>K con uno spessore di 71,5 centimetri.

## RECUPERO

<b>A'2ab3</b>	<b>CHIUSURA VERTICALE</b> CONTROPARETE INTERNA IN BLOCCHI SU MURATURA IN PIETRA CON SUPERFICIE IRREGOLARE	
---------------	--	---



Caratteristiche termiche e igrometriche dei componenti opachi  
Dall'interno verso l'esterno

	Descrizione strato	s [mm]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\lambda$ [W/mK]	C [kcal/kg]	$\mu$	R [m <sup>2</sup> *K/W]
	Resistenza interna						0,13
A	intonaco in calcecanapulo 1:4,5 *	10	650	0,17	0,28		0,06
B	blocchi in calcecanapulo 200x200x500 mm **	150	320	0,072	0,425	4,5	2,08
C	canapulo sfuso ***	60	110	0,048	0,46	1,5	1,25
D	muratura in pietra granitica	500	1740	2,25	0,2	1000	0,22
	Resistenza esterna						0,04
Totale		<b>Spessore [mm] =</b>	<b>720</b>	<b>Resistenza [m<sup>2</sup>*K/W] =</b>			<b>3,78</b>

**1/ R totale [W/m<sup>2</sup>\*K] = Trasmittanza U = 0,26**


<b>Massa superficiale m [kg/m<sup>2</sup>]</b>	<b>931,10</b>
<b>Coefficiente di sfasamento <math>\Phi</math></b>	<b>22h<sup>0</sup></b>

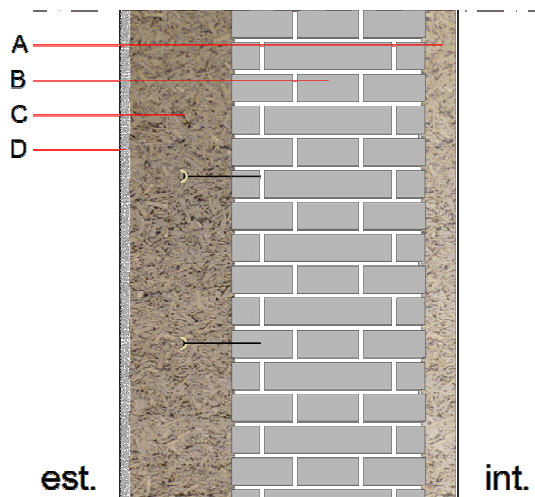
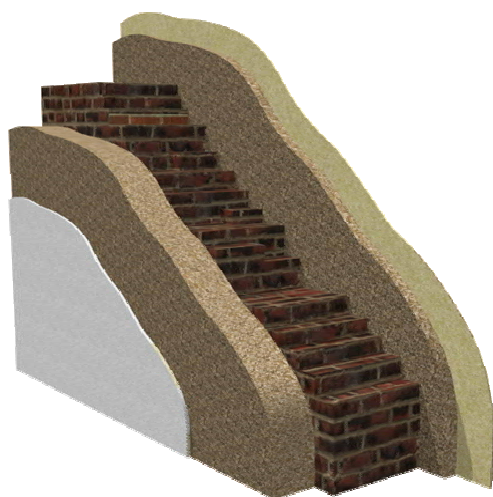
Trasmittanza massima	dal 1/1/2010	0,33
	per le detrazioni del 55% dal 26/1/2010	0,26

- \* Miscela Tradical 70® Chanvribat®
- \*\* Blocco di tipo Equilibrium
- \*\*\* Canapulo Chanvribat®

La variante A'2ab3, con uno spessore totale di 72 cm, prevede il miglioramento delle prestazioni termiche della parete tramite l'inserimento di uno strato di canapulo sfuso (0,048 W/mK) con spessore di 6 cm fra la parete e la controparete realizzata in blocchi di calcecanapulo di 15 cm, per ottenere una trasmittanza termica di 0,26 W/m<sup>2</sup>K.

## RECUPERO

<b>A'2ba1</b>	<b>CHIUSURA VERTICALE</b> CONTROPARETE ESTERNA IN GETTO SU MURATURA IN MATTONI PIENI	
---------------	---	---



Caratteristiche termiche e igrometriche dei componenti opachi  
Dall'interno verso l'esterno

	Descrizione strato	s [mm]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\lambda$ [W/mK]	C [kcal/kg]	$\mu$	R [m <sup>2</sup> *K/W]
	Resistenza interna						0,13
A	intonaco isolante e rasatura in calcecanapulo 1:4,5 (60+5 mm) *	65	650	0,17	0,28		0,38
B	muratura in mattoni pieni 120x204x55 mm	380	1700	0,7	0,2	10	0,54
C	getto in calcecanapulo 1:2,2 *	200	420	0,1	0,36	4,8	2,00
D	intonaco di calce e sabbia	20	1600	0,8	0,28	6	0,03
	Resistenza esterna						0,04
Totale		<b>Spessore [mm] = 600</b>					<b>Resistenza [m<sup>2</sup>*K/W] = 3,12</b>

$$1/R \text{ totale [W/m}^2\text{*K]} = \text{Trasmittanza U} = 0,32$$


<b>Massa superficiale m [kg/m<sup>2</sup>]</b>	<b>804,25</b>
<b>Coefficiente di sfasamento <math>\Phi</math></b>	<b>22h50'</b>

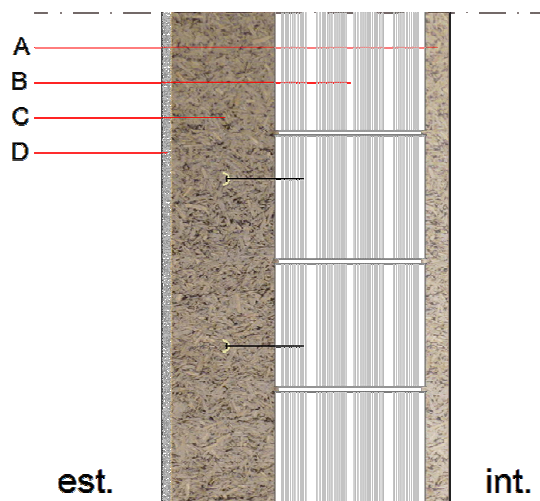
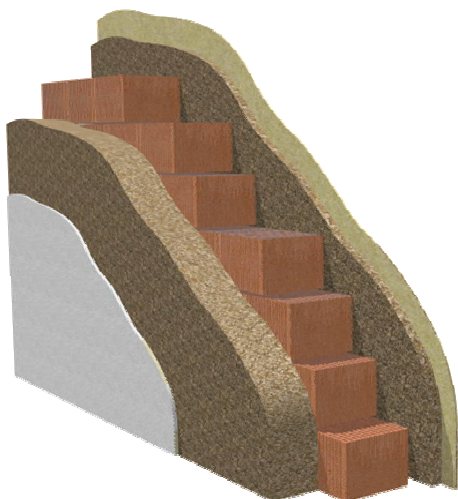
Trasmittanza massima	dal 1/1/2010	0,33
	per le detrazioni del 55% dal 26/1/2010	0,26

\* Miscela Tradical 70® Chanvribat®

Il dettaglio costruttivo A'2ba1 (60 cm di spessore) è costituito da una controparete esterna in calcecanapulo con spessore di 20 cm, rivestita esternamente con intonaco in calce e sabbia, posata contro una muratura in mattoni pieni di 38 cm; un intonaco isolante in calcecanapulo 1;4,5 spesso 6 cm (più 0,5 cm di rasatura) viene applicato internamente e la struttura raggiunge una trasmittanza totale di 0,26 W/m<sup>2</sup>K.

## RECUPERO

<b>A'2ba2</b>	<b>CHIUSURA VERTICALE</b> CONTROPARETE ESTERNA IN GETTO SU MURATURA IN MATTONI FORATI	
---------------	--	---



Caratteristiche termiche e igrometriche dei componenti opachi  
Dall'interno verso l'esterno

	Descrizione strato	s [mm]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\lambda$ [W/mK]	C [kcal/kg]	$\mu$	R [m <sup>2</sup> *K/W]
	Resistenza interna						0,13
A	intonaco isolante e rasatura in calcecanapulo 1:4,5 (40+5 mm) *	35	650	0,17	0,28		0,21
B	muratura in mattoni forati 300x250x250 mm	300	685	0,201	0,28	15	1,49
C	getto in calcecanapulo 1:2,2 *	200	420	0,1	0,36	4,8	2,00
D	intonaco di calce e sabbia	20	1600	0,8	0,28	6	0,03
	Resistenza esterna						0,04
Totale      Spessore [mm] =		<b>555</b>	Resistenza [m <sup>2</sup> *K/W] =				<b>3,89</b>

**1/ R totale [W/m<sup>2</sup>\*K] = Trasmittanza U = 0,26**


Massa superficiale m [kg/m <sup>2</sup> ]	<b>344,25</b>
Coefficiente di sfasamento $\Phi$	<b>17h57'</b>

Trasmittanza massima	dal 1/1/2010	0,33
	per le detrazioni del 55% dal 26/1/2010	0,26

\* Miscela Tradical 70® Chanvribat®

Il recupero di una muratura portante in mattoni forati di 30 cm, come previsto nel particolare A'2ba2, presenta una controparete esterna in calcecanapulo con 20 cm di spessore e un intonaco isolante in calcecanapulo 1:4,5 con spessore 3,5 cm, applicato all'interno della parete. Con uno spessore complessivo di 56,5 cm, il pacchetto raggiunge un valore di trasmittanza termica di 0,26 W/m<sup>2</sup>K.

## RECUPERO

<b>A'2bb1</b>	<b>CHIUSURA VERTICALE</b> CONTROPARETE INTERNA IN GETTO SU MURATURA IN PIETRA	
---------------	--	---



Caratteristiche termiche e igrometriche dei componenti opachi  
 Dall'interno verso l'esterno

	Descrizione strato	s [mm]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\lambda$ [W/mK]	C [kcal/kg]	$\mu$	R [m <sup>2</sup> *K/W]
	Resistenza interna						0,13
A	intonaco isolante e rasatura in calcecanapulo 1:4,5 (60+5 mm) *	65	650	0,17	0,28		0,38
B	getto in calcecanapulo 1:2,2 *	200	420	0,1	0,36	4,8	2,00
C	muratura in mattoni pieni 120x240x55 mm	380	1700	0,7	0,2	10	0,54
	Resistenza esterna						0,04
Totale      Spessore [mm] =		<b>645</b>	Resistenza [m <sup>2</sup> *K/W] =				<b>3,10</b>

$$1/ R \text{ totale [W/m}^2\text{*K]} = \text{Trasmittanza } U = \mathbf{0,32}$$

Massa superficiale m [kg/m <sup>2</sup> ]	<b>772,25</b>
Coefficiente di sfasamento $\Phi$	<b>22h15'</b>

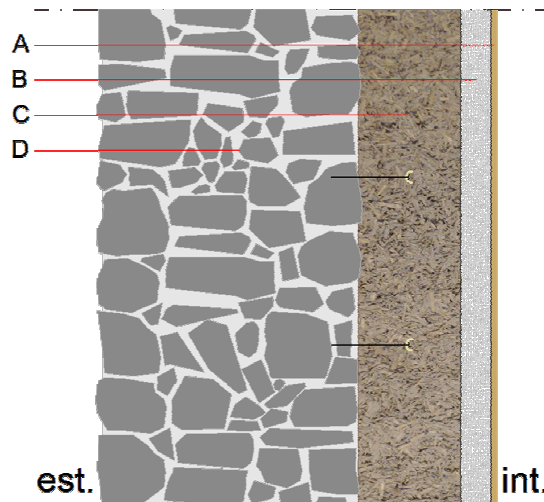
Trasmittanza massima	dal 1/1/2010	0,33
	per le detrazioni del 55% dal 26/1/2010	0,26

\* Miscela Tradical 70® Chanvribat®

L'intervento di recupero all'interno di una muratura in mattoni pieni (A'2bb1), prevede la realizzazione della controparete in getto di calcecanapulo 1;2,2 con spessore di 20 cm, rivesitata con intonaco isolante e rasatura in calcecanapulo per ottenere una trasmittanza termica di 0,32 W/m<sup>2</sup>K.

## RECUPERO

<b>A'2bb2</b>	<b>CHIUSURA VERTICALE</b> CONTROPARETE INTERNA E INTONACO ISOLANTE INTERNO IN GETTO SU MURATURA IN PIETRA	
---------------	---	---



Caratteristiche termiche e igrometriche dei componenti opachi  
Dall'interno verso l'esterno

	Descrizione strato	s [mm]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\lambda$ [W/mK]	C [kcal/kg]	$\mu$	R [m <sup>2</sup> *K/W]
	Resistenza interna						0,13
A	rasatura in calcecanapulo 1:4,5 *	5	650	0,17	0,28		0,03
B	termointonaco di calce (tipo Termotec)	60	395	0,05	0,45	5,3	1,20
C	getto in calcecanapulo 1:2,2 *	200	420	0,1	0,36	4,8	2,00
D	muratura in pietra granitica	500	1740	2,25	0,2	1000	0,22
	Resistenza esterna						0,04
Totale      Spessore [mm] =		<b>765</b>	Resistenza [m <sup>2</sup> *K/W] =				<b>3,62</b>

$$1/ R \text{ totale [W/m}^2\text{*K]} = \text{Trasmittanza } U = \mathbf{0,28}$$


Massa superficiale m [kg/m <sup>2</sup> ]	<b>957,25</b>
Coefficiente di sfasamento $\Phi$	<b>23h19'</b>

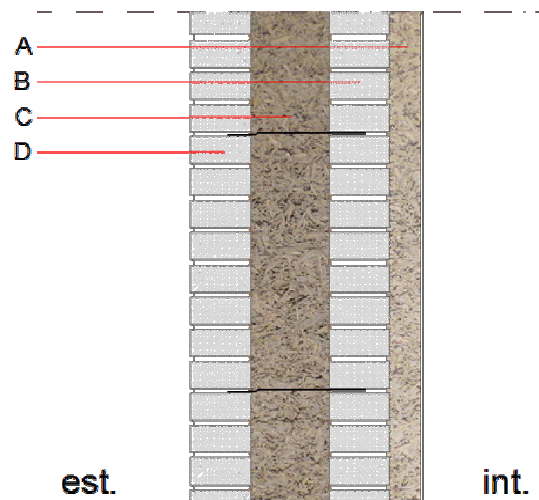
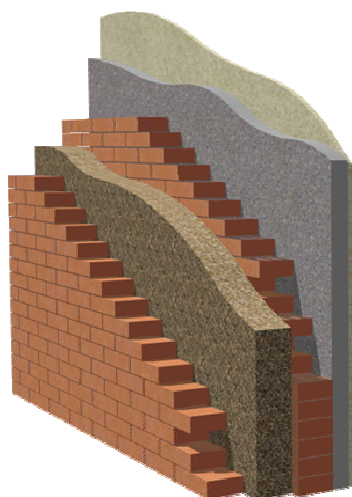
Trasmittanza massima	dal 1/1/2010	0,33
	per le detrazioni del 55% dal 26/1/2010	0,26

\* Miscela Tradical 70® Chanvribat®

La soluzione A'2bb2 con spessore totale di 76,5 cm e trasmittanza termica di 0,28 W/m<sup>2</sup>K, prevede il miglioramento delle prestazioni termiche della parete esistente in pietra con l'applicazione di uno strato di intonaco isolante tipo Termotec, con uno spessore di 6,5 cm, sopra la contraparete di 20 cm realizzata in calcecanapulo 1:2,2.

## RECUPERO

<b>A'2c1</b>	<b>CHIUSURA VERTICALE</b> RIEMPIMENTO DI MURATUR IN LATERIZIO A DOPPIA PARETE CON MATTONI FACCIA A VISTA	
--------------	---	---



Caratteristiche termiche e igrometriche dei componenti opachi  
 Dall'interno verso l'esterno

	Descrizione strato	s [mm]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\lambda$ [W/mK]	C [kcal/kg]	$\mu$	R [m <sup>2</sup> *K/W]	
	Resistenza interna						0,13	
A	intonaco isolante e rasatura in calcecanapulo 1:4,5 (60+5 mm) *	65	650	0,17	0,28		0,38	
B	mattoni semipieni 120x250x55 mm	120	1500	0,7	0,2	10	0,17	
C	getto in calcecanapulo 1:1 *	150	250	0,06	0,36	11,5	2,50	
D	mattoni pieni faccia a vista 120x250x55 mm	120	1700	0,7	0,2	10	0,17	
	Resistenza esterna						0,04	
Totale		<b>Spessore [mm] =</b>	<b>455</b>				<b>Resistenza [m<sup>2</sup>*K/W] =</b>	<b>3,40</b>

$$1/R \text{ totale [W/m}^2\text{*K]} = \text{Trasmittanza } U = \mathbf{0,29}$$

Massa superficiale m [kg/m <sup>2</sup> ]	<b>463,75</b>
Coefficiente di sfasamento $\Phi$	<b>20h34'</b>

Trasmittanza massima	dal 1/1/2010	0,33
	per le detrazioni del 55% dal 26/1/2010	0,26

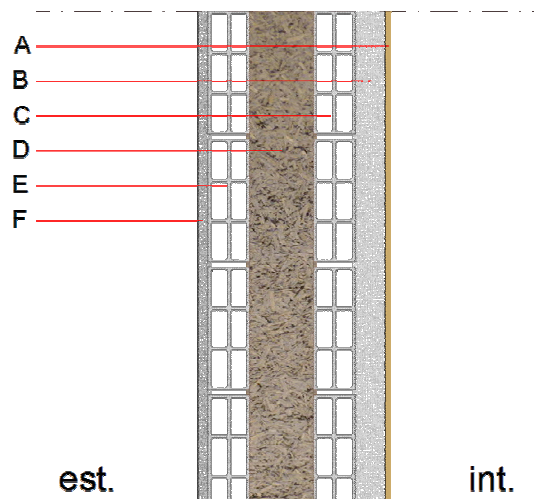
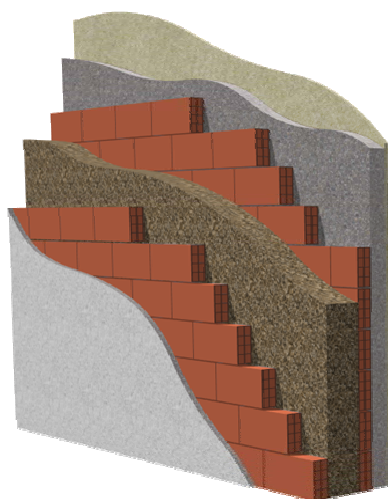
\* Miscela Tradical 70® Chanvribat®

L'isolamento del sistema murario a doppia parete in laterizio pieno (A'2c1), prevede il riempimento dell'intercapedine del sistema con il calcecanapulo 1:1 con 15 cm spessore, oltre all'applicazione di un intonaco isolante interno in calcecanapulo 1:4,5 di 6,5 cm (6+0,5 di rasatura). La facciata esterna rimane in questo modo a vista, e il pacchetto di 45,5 cm raggiunge una trasmittanza di 0,29 W/m<sup>2</sup>K.



## RECUPERO

<b>A'2c2</b>	<b>CHIUSURA VERTICALE</b> RIEMPIMENTO DI MURATURA IN LATERIZIO A DOPPIA PARETE CON MATTONI FORATI	
--------------	--	---



Caratteristiche termiche e igrometriche dei componenti opachi  
 Dall'interno verso l'esterno

	Descrizione strato	s [mm]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\lambda$ [W/mK]	C [kcal/kg]	$\mu$	R [m <sup>2</sup> *K/W]
	Resistenza interna						0,13
A	rasatura in calcecanapulo 1:4,5 *	5	650	0,17	0,28		0,03
B	termointonaco di calce (tipo Termotec)	60	395	0,05	0,45	5,3	1,20
C	mattoni forati 80x240x55 mm	80	1800	0,36	0,2	15	0,22
D	getto in calcecanapulo 1:1 *	90	250	0,06	0,36	11,5	1,50
E	mattoni forati 80x240x55 mm	80	1800	0,36	0,2	15	0,22
F	intonaco di calce e sabbia	20	1600	0,8	0,28	6	0,03
	Resistenza esterna						0,04
Totale		<b>Spessore [mm] = 335</b>					<b>Resistenza [m<sup>2</sup>*K/W] = 3,37</b>

$$1/R \text{ totale [W/m}^2\text{*K]} = \text{Trasmittanza } U = 0,30$$

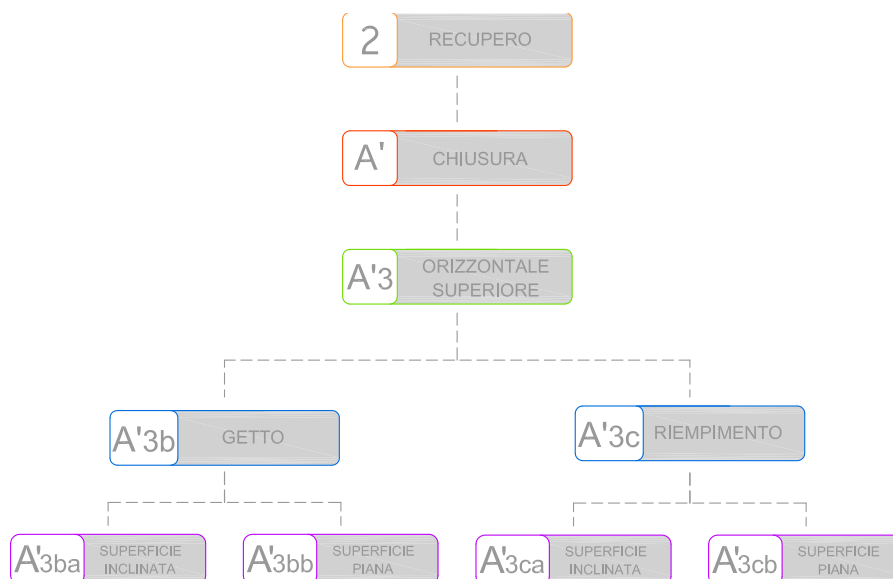
<b>Massa superficiale m [kg/m<sup>2</sup>]</b>	<b>369,45</b>
<b>Coefficiente di sfasamento <math>\Phi</math></b>	<b>16h26'</b>

Trasmittanza massima	dal 1/1/2010	0,33
	per le detrazioni del 55% dal 26/1/2010	0,26

\* Miscela Tradical 70® Chanvribat®

Il particolare costruttivo A'2c2 (33,5 cm) che raggiunge una trasmittanza di 0,30 W/m<sup>2</sup>K, prevede il riempimento dell'intercapedine del sistema a doppia parete realizzata in mattoni forati, mediante il calcecanapulo 1:1 con spessore di 8 cm e la posa di un termointonaco tipo Termotec di 6 cm al lato interno della parete con una rasatura in calcecanapulo 1:4,5.

#### 4.4.2.2 CHIUSURA ORIZZONTALE SUPERIORE



I dettagli costruttivi relativi agli interventi di recupero delle chiusure orizzontali e inclinate superiori, indicati con il codice **A'3**, possono essere realizzati con due tipi di tecniche: il getto o il riempimento. Sia per l'utilizzo della tecnica a getto che per quella a riempimento, si prevede l'impiego del calcecanapulo con un impasto 1:1 ( $\lambda = 0,06 \text{ W/mK}$ ). Per tutte le soluzioni è previsto l'utilizzo di una guaina traspirante (tipo Ecofil) che protegge l'ultimo strato, sottostante il manto di copertura, dall'umidità.

La tecnica a getto (**A'3b**) viene impiegata nei casi di solai esistenti in laterocemento, dove il calcecanapulo funge da isolamento termico del sistema. Una suddivisione successiva si riferisce al tipo della chiusura: inclinata (segnata con il codice **A'3ba**) o piana (**A'3bb**), e prevede la realizzazione di manti di copertura diversi.

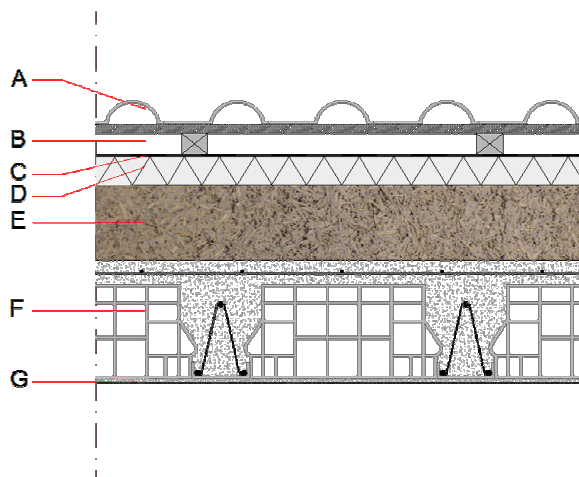
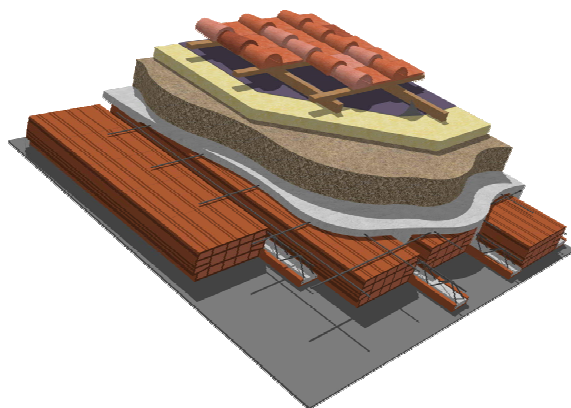
I dettagli costruttivi realizzati con la tecnica di riempimento, indicati con il codice **A'3c**, prevedono il recupero dei solai tradizionali in legno, realizzati con travi e travetti sopra i quali vengono posizionate perline in legno per la formazione del assito. Anche in questo caso i pacchetti si dividono in chiusure inclinate- **A'3ca** e chiusure orizzontali- **A'3cb**; per le chiusure inclinate, vengono prese in considerazione tecniche di recupero con e senza la rimozione del manto di copertura.

## RECUPERO

### A'3ba1

#### CHIUSURA ORIZZONTALE SUPERIORE

GETTO DI CALCECANAPULO SU SUPERFICIE INCLINATA IN LATEROCEMENTO



#### Caratteristiche termiche e igrometriche dei componenti

Dall'esterno verso l'interno

	Descrizione strato	s [mm]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\lambda$ [W/mK]	C [kcal/kg]	$\mu$	R [m <sup>2</sup> *K/W]
	Resistenza esterna						0,04
A	copertura discontinua in laterizio						
B	controlistello, intercapedine di ventilazione	45	1,2		0,24	1	0,16
C	guaina traspirante (tipo Ecofil)						
D	pannello isolante in fibra di legno (tipo Steico Universal)	60	270	0,048	0,51	5	1,25
E	getto in calcecanapulo 1:1 *	160	250	0,06	0,36	11,5	2,67
F	solaio in laterocemento (20+5 cm)	250	1800	1,9	0,2	10	0,13
G	intonaco	10	1400	0,7	0,24	10	0,01
	Resistenza interna						0,1
Totale		<b>Spessore [mm] = 525</b>					<b>Resistenza [m<sup>2</sup>*K/W] = 4,36</b>

$$1/R \text{ totale [W/m}^2\text{*K]} = \text{Trasmittanza } U = 0,23$$

Massa superficiale m [kg/m <sup>2</sup> ]	<b>520,25</b>
Coefficiente di sfasamento $\Phi$	<b>20h42'</b>

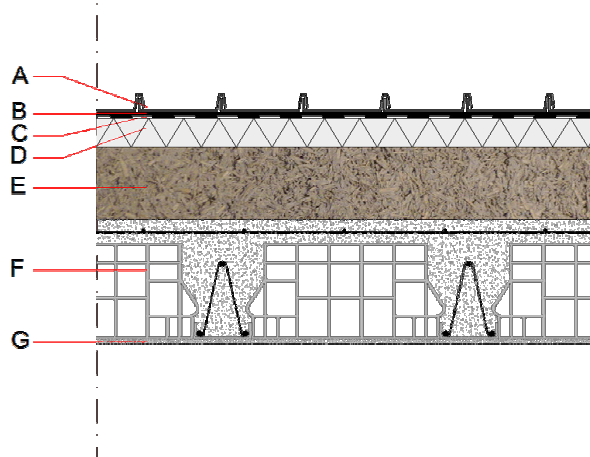
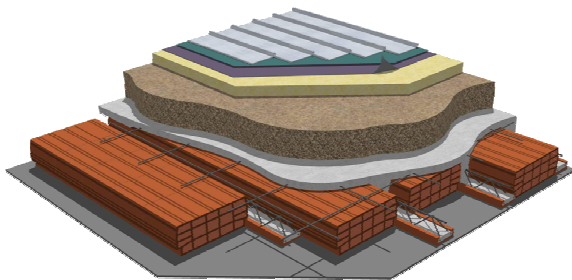
Trasmittanza massima	dal 1/1/2010	0,29
	per le detrazioni del 55% dal 26/1/2010	0,23

\* Miscela Tradical 70® Chanvribat®

Per il recupero di tale copertura come indicato nel particolare A'3ba1, è previsto il getto di calcecanapulo 1:1 con uno spessore di 16 cm, che funge da isolamento termico del pacchetto, sopra il solaio realizzato in laterocemento (20+5 cm). Successivamente viene posato un pannello in fibra di legno di 6 cm, ricoperto in una guaina traspirante sopra alla quale sono fissati i controlistelli di ventilazione. Con uno spessore totale di 52,5 cm si raggiunge una trasmittanza termica di 0,23 W/m<sup>2</sup>K.

## RECUPERO

<b>A'3bb1</b>	<b>CHIUSURA ORIZZONTALE SUPERIORE</b> GETTO DI CALCECANAPULO SU SUPERFICIE PIANA NON CALPESTABILE IN LATERO CEMENTO	
---------------	--	---



Caratteristiche termiche e igrometriche dei componenti  
Dall'esterno verso l'interno

	Descrizione strato	s [mm]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\lambda$ [W/mK]	C [kcal/kg]	$\mu$	R [m <sup>2</sup> *K/W]	
	Resistenza esterna						0,04	
A	copertura metallica	10	2300	1	0,2	200	0,01	
B	sottofondo in fibra di legno (tipo Steico Underfloor)	5	250	0,05			0,10	
C	guaina traspirante (tipo Ecofil)							
D	pannello isolante in fibra di legno (tipo Steico Universal)	60	270	0,048	0,51	5	1,25	
E	getto in calcecanapulo 1:1 *	160	250	0,06	0,36	11,5	2,67	
F	solaio in laterocemento (20+5 cm)	250	1800	1,9	0,2	10	0,13	
G	intonaco	10	1400	0,7	0,24	10	0,01	
	Resistenza interna						0,1	
Totale		<b>Spessore [mm] =</b>	<b>495</b>				<b>Resistenza [m<sup>2</sup>*K/W] =</b>	<b>4,31</b>

$$1/ R \text{ totale [W/m}^2\text{*K]} = \text{Trasmittanza U} = \mathbf{0,23}$$

Massa superficiale m [kg/m <sup>2</sup> ]	<b>544,45</b>
Coefficiente di sfasamento $\Phi$	<b>21h38'</b>

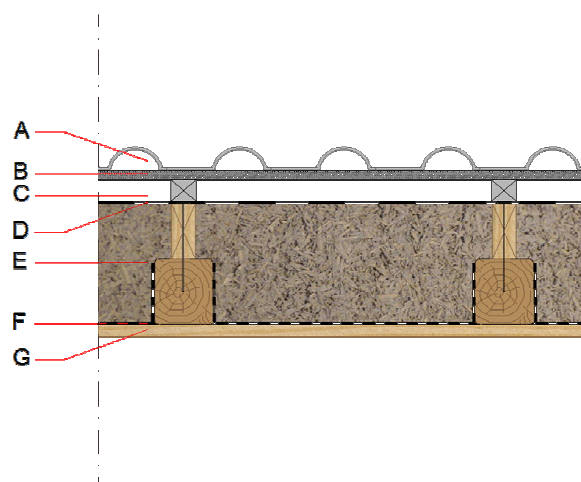
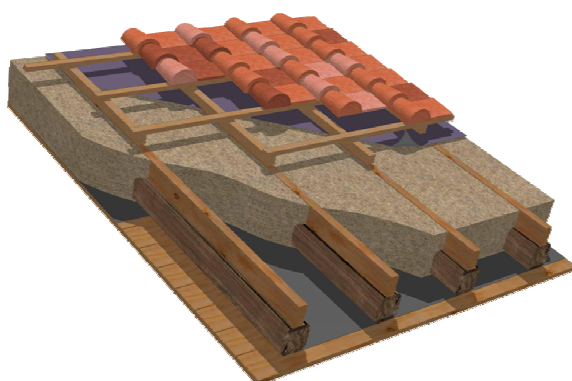
Trasmittanza massima	dal 1/1/2010	0,29
	per le detrazioni del 55% dal 26/1/2010	0,23

\* Miscela Tradical 70® Chanvribat®

Il recupero di copertura piana realizzata in laterocemento prevede una stratigrafia simile a quella della copertura inclinata ma prevede un manto di copertura metallico, posato sopra un sottofondo rigido in fibra di legno (tipo Underfloor). Il particolare costruttivo A'3Bbb1 presenta una trasmittanza complessiva di 0,23 W/m<sup>2</sup>K e uno spessore di 49,5 cm.

## RECUPERO

<b>A3ca1</b>	<b>CHIUSURA ORIZZONTALE SUPERIORE</b> RIEMPIMENTO FRA TRAVETTI DI SUPERFICIE INCLINATA IN LEGNO CON CALCECANAPULO	
--------------	--	---



Caratteristiche termiche e igrometriche dei componenti

Dall'esterno verso l'interno

	Descrizione strato	s [mm]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\lambda$ [W/mK]	C [kcal/kg]	$\mu$	R [m <sup>2</sup> *K/W]	
	Resistenza esterna						0,04	
A	copertura discontinua in laterizio							
B	listello porta tegole	15	450	0,12	0,65	60		
C	controlistello, intercapedine di ventilazione	45	1,2		0,24	1	0,16	
D	guaina traspirante (tipo Ecofil)							
E	getto in calcecanapulo 1:1 *	250	250	0,06	0,36	11,5	4,17	
F	membrana antipolvere (tipo Kraft)							
G	assito in legno in abete	25	450	0,12	0,65	60	0,21	
	Resistenza interna						0,1	
	Totale	<b>Spessore [mm] =</b>	<b>335</b>				<b>Resistenza [m<sup>2</sup>*K/W] =</b>	<b>4,68</b>

<b>1/ R totale [W/m<sup>2</sup>*K]</b>	<b>= Trasmittanza U =</b>	<b>0,21</b>
--	---------------------------	-------------

<b>Massa superficiale m [kg/m<sup>2</sup>]</b>	<b>80,55</b>
<b>Coefficiente di sfasamento <math>\Phi</math></b>	<b>14h33'</b>

Trasmittanza massima	dal 1/1/2010	0,29
	per le detrazioni del 55% dal 26/1/2010	0,23

\* Miscela Tradical 70® Chanvribat®

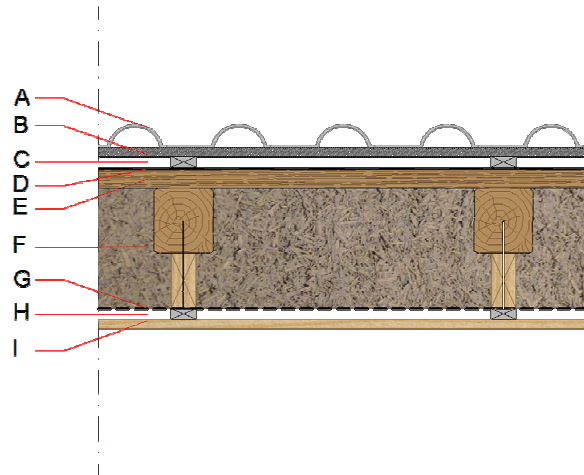
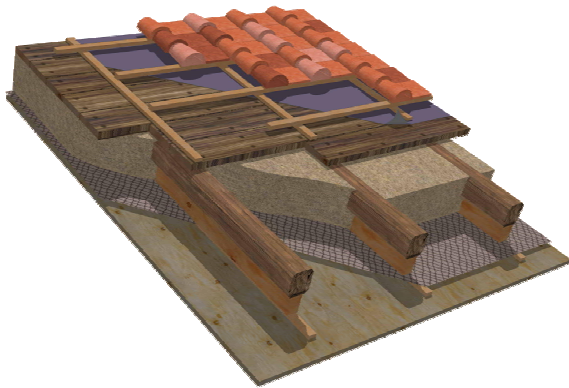
Il dettaglio A'3ca1 con trasmittanza di 0,21 W/m<sup>2</sup>K, e spessore di 33,5 cm, prevede l'aggiunta di uno spessore ai travetti se essi hanno un'altezza inferiore a 25 cm. Un assito di 2,5 cm in legno viene fissato sotto i travetti e la miscela in calcecanapulo 1:1 viene posata fra di loro. Una guaina impermeabile al vapore, ma traspirante viene fissata ai travetti prima della posa della copertura ventilata in laterizio.

## RECUPERO

### A'3ca2

#### CHIUSURA ORIZZONTALE SUPERIORE

RIEMPIMENTO FRA TRAVETTI DI SUPERFICIE INCLINATA IN LEGNO CON CALCECANAPULO (SENZA LA RIMOZIONE DEL MANTO DI COPERTURA)



#### Caratteristiche termiche e igrometriche dei componenti

Dall'esterno verso l'interno

	Descrizione strato	s [mm]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\lambda$ [W/mK]	C [kcal/kg]	$\mu$	R [m <sup>2</sup> *K/W]	
	Resistenza esterna						0,04	
A	copertura discontinua in laterizio							
B	listello porta tegole	15	450	0,12	0,65	60		
C	controlistello, intercapedine di aerazione	20	1,2		0,24	1	0,18	
D	guaina impermeabile							
E	assito in legno	40	450	0,12	0,65	60	0,33	
F	getto in calcecanapulo 1:1 *	250	250	0,06	0,36	11,5	4,17	
G	rete semirigida							
H	intercapedine di aerazione	20	1,2		0,24	1	0,18	
I	pannello in legno	25	450	0,12	0,65	60	0,21	
	Resistenza interna						0,1	
Totale		<b>Spessore [mm] = 370</b>	<b>Resistenza [m<sup>2</sup>*K/W] = 5,21</b>					

$$1/ R \text{ totale [W/m}^2\text{*K]} = \text{Trasmittanza U} = \mathbf{0,19}$$


Massa superficiale m [kg/m <sup>2</sup> ]	<b>80,52</b>
Coefficiente di sfasamento $\Phi$	<b>14h15'</b>

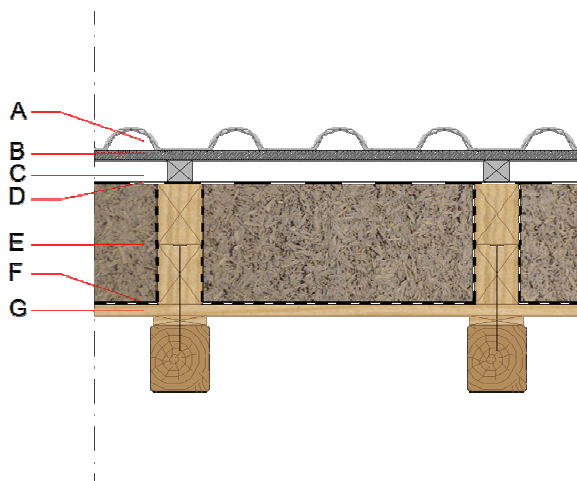
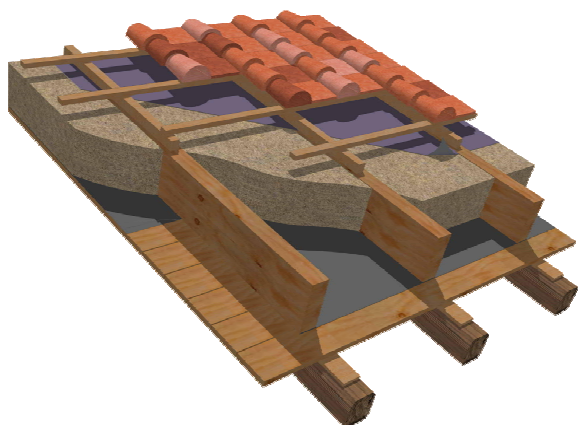
Trasmittanza massima	dal 1/1/2010	0,29
	per le detrazioni del 55% dal 26/1/2010	0,23

\* Miscela Tradical 70® Chanvribat®

Per l'isolamento del tetto con questo metodo, viene aggiunto internamente uno spessore ai travetti per raggiungere un'altezza di 25 cm per la posa del calcecanapulo. Una rete semirigida viene fissata ai travetti con un listello di legno di 2 cm di spessore al quale si fissa un pannello, lasciando così 2 cm per l'aerazione. Il particolare A'3ca2 raggiunge una trasmittanza termica di 0,19 W/m<sup>2</sup>K con uno spessore di 37 cm.

## RECUPERO

<b>A'3ca3</b>	<b>CHIUSURA ORIZZONTALE SUPERIORE</b> RIEMPIMENTO FRA TRAVETTI DI SUPERFICIE INCLINATA IN LEGNO CON CALCECANAPULO (CON TRAVETTI A VISTA)	
---------------	---	---



Caratteristiche termiche e igrometriche dei componenti  
Dall'esterno verso l'interno

	Descrizione strato	s [mm]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\lambda$ [W/mK]	C [kcal/kg]	$\mu$	R [m <sup>2</sup> *K/W]
	Resistenza esterna						0,04
A	copertura discontinua in laterizio						
B	listello porta tegole	15	450	0,12	0,65	60	
C	controlistello, intercapedine di ventilazione	45	1,2		0,24	1	0,16
D	guaina traspirante (tipo Ecofil)						
E	getto in calcecanapulo 1:1 *	250	250	0,06	0,36	11,5	4,17
F	membrana antipolvere (tipo Kraft)						
G	assito in legno	25	450	0,12	0,65	60	0,21
	Resistenza interna						0,1
Totale		<b>Spessore [mm] =</b>	<b>335</b>	<b>Resistenza [m<sup>2</sup>*K/W] =</b>			<b>4,68</b>

**1/ R totale [W/m<sup>2</sup>\*K] = Trasmittanza U = 0,21**

<b>Massa superficiale m [kg/m<sup>2</sup>]</b>	<b>80,55</b>
<b>Coefficiente di sfasamento <math>\Phi</math></b>	<b>14h33'</b>

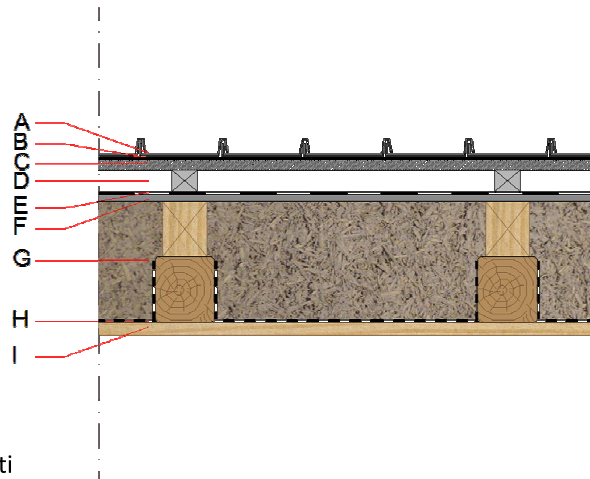
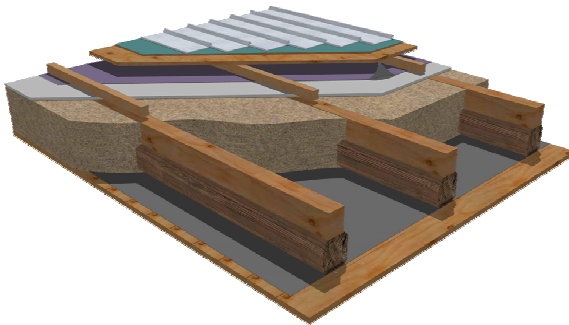
Trasmittanza massima	dal 1/1/2010	0,29
	per le detrazioni del 55% dal 26/1/2010	0,23

\* Miscela Tradical 70® Chanvribat®

La soluzione A'3ca3 raggiunge una trasmittanza e uno spessore uguali al particolare A'3ca2. Essa prevede l'installazione di una seconda fila di travetti, alti 25 cm, sopra all'assito al fine di lasciare il solaio ligneo a vista. Il calcecanapulo viene poi applicato fra tali travetti secondari.

## RECUPERO

<b>A'3cb1</b>	<b>CHIUSURA ORIZZONTALE SUPERIORE</b> RIEMPIMENTO FRA TRAVETTI DI SUPERFICIE PIANA IN LEGNO CON CALCECANAPULO	
---------------	--	---



Caratteristiche termiche e igrometriche dei componenti  
Dall'esterno verso l'interno

	Descrizione strato	s [mm]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\lambda$ [W/mK]	C [kcal/kg]	$\mu$	R [m <sup>2</sup> *K/W]
	Resistenza esterna						0,04
A	copertura metallica						
B	sottofondo in fibra di legno (tipo Steico Underfloor)	5	250	0,05			0,10
C	pannello in legno	20	450	0,12	0,65	60	0,17
D	intercapedine di ventilazione	50	1,2		0,24	1	0,16
E	guaina traspirante (tipo Ecofil)						
F	pannello di redistribuzione carichi (tipo Fermacell)	15	900	0,32	0,262	4,5	0,05
G	getto in calcecanapulo 1:1 *	250	250	0,06	0,36	11,5	4,17
H	membrana antipolvere (tipo Kraft)						
I	assito in legno	25	450	0,12	0,65	60	0,21
	Resistenza interna						0,1
Totale		<b>Spessore [mm] =</b>	<b>365</b>	<b>Resistenza [m<sup>2</sup>*K/W] =</b>			<b>4,98</b>

$$1/R \text{ totale [W/m}^2\text{*K]} = \text{Trasmittanza U} = \mathbf{0,20}$$

Massa superficiale m [kg/m <sup>2</sup> ]	<b>97,56</b>
Coefficiente di sfasamento $\Phi$	<b>17h9'</b>

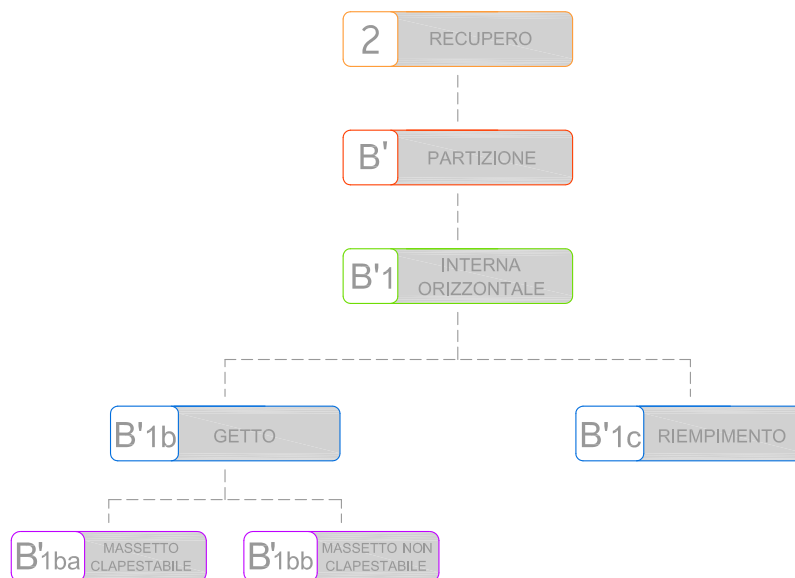
Trasmittanza massima	dal 1/1/2010	0,29
	per le detrazioni del 55% dal 26/1/2010	0,23

\* Miscela Tradical 70® Chanvribat®

Per l'isolamento del tetto con questo metodo, viene aggiunto internamente uno spessore ai travetti per raggiungere un'altezza di 25 cm per la posa del calcecanapulo. Una rete semirigida viene fissata ai travetti con un listello di legno di 2 cm di spessore al quale si fissa un pannello, lasciando così 2 cm per l'aerazione. Il particolare A'3ca2 raggiunge una trasmittanza termica di 0,19 W/m<sup>2</sup>K con uno spessore di 37 cm.



#### 4.4.2.3 PARTIZIONE INTERNA ORIZZONTALE



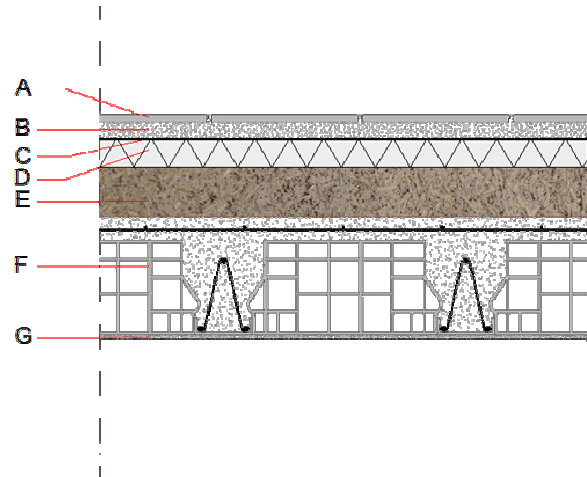
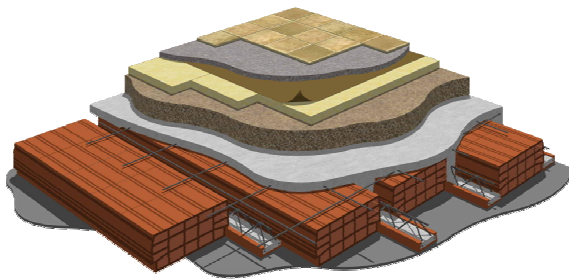
I particolari costruttivi del gruppo **B'1b** illustrano possibili interventi di recupero delle partizioni interne orizzontali, con la realizzazione di un massetto isolante in calcecanapulo. Per la realizzazione del massetto in getto di solai calpestabili (**B'1ba**) viene utilizzato un impasto in calcecanapulo 1:2,75 (con conduttività termica di 0,11 W/mK e densità di 500 kg/m<sup>3</sup>).

I due pacchetti **B'1bb** invece, tengono in considerazione le partizioni interne orizzontali non calpestabili, e quindi prevedono l'impiego del calcecanapulo isolante 1:1 o il canapulo sfuso.

Le stratigrafie **B'1c** prevedono interventi di recupero in cui il solaio esistente in legno viene lasciato a vista e il sistema di isolamento a riempimento viene realizzato con la posa di una fila secondaria di travetti fissati sopra l'assito di legno. Tali pacchetti prevedono l'impiego del calcecanapulo 1:1 (0,06 W/mK), del canapulo sfuso (0,048 W/mK) o del canapulo stratificato con strati di latte di calce.

## RECUPERO

<b>B'1ba1</b>	<b>PARTIZIONE INTERNA ORIZZONTALE</b> GETTO DI CALCECANAPULO SU STRUTTURA ESISTENTE IN LATEROCEMENTO	
---------------	---	---



Caratteristiche termiche e igrometriche dei componenti  
Dall'interno verso l'esterno

	Descrizione strato	s [mm]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\lambda$ [W/mK]	C [kcal/kg]	$\mu$	R [m <sup>2</sup> *K/W]
	Resistenza interna						0,1
A	piastrelle in ceramica	10	2300	1	0,2	200	0,01
B	boiaccia di calce	40	1450	0,49	0,25	7,5	0,08
C	barriera al vapore in carta oleata						
D	pannello isolante in fibra di legno (tipo Steico Floor)	60	160	0,043	0,502	5	1,40
E	massetto in calcecanapulo 1:2,75 *	200	500	0,11	0,37	4,8	1,82
F	solaio in laterocemento (20+5 cm)	250	1800	1,9	0,2	10	0,13
G	intonaco	10	1400	0,7	0,24	10	0,01
	Resistenza esterna						0,04
Totale		<b>Spessore [mm] =</b>	<b>570</b>		<b>Resistenza [m<sup>2</sup>*K/W] =</b>		<b>3,59</b>

$$1/ R \text{ totale [W/m}^2\text{*K]} = \text{Trasmittanza } U = \mathbf{0,28}$$

Massa superficiale m [kg/m <sup>2</sup> ]	<b>654,60</b>
Coefficiente di sfasamento $\Phi$	<b>23h17'</b>

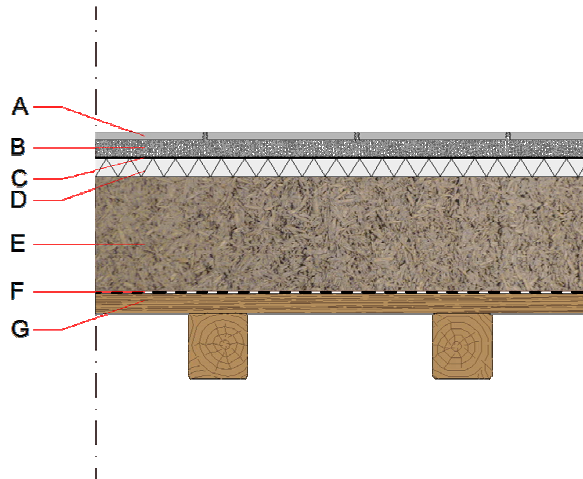
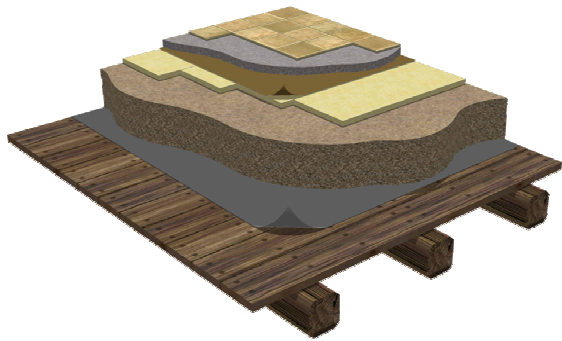
Trasmittanza massima	dal 1/1/2010	0,32
	per le detrazioni del 55% dal 26/1/2010	0,28

\* Miscela Tradical 70® Chanvribat®

La soluzione B'1ba1, prevede la realizzazione di un massetto in calcecanapulo con 20 cm di spessore al quale viene applicato un pannello in fibra di legno di 4 cm, coperto da un freno al vapore, per l'isolamento di un solaio esistente in laterocemento (20+5 cm). La pavimentazione è costituita da una boiaccia di calce di 4 cm sulla quale vengono posizionate le piastrelle ceramiche. Il valore finale di trasmittanza è di 0,28 W/m<sup>2</sup>K, e lo spessore complessivo è di 57 cm.

## RECUPERO

<b>B1ba2</b>	<b>PARTIZIONE INTERNA ORIZZONTALE</b> GETTO DI CALCECANAPULO SU STRUTTURA ESISTENTE IN LEGNO	
--------------	---	---



Caratteristiche termiche e igrometriche dei componenti  
 Dall'interno verso l'esterno

	Descrizione strato	s [mm]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\lambda$ [W/mK]	C [kcal/kg]	$\mu$	R [m <sup>2</sup> *K/W]
	Resistenza interna						0,1
A	piastrelle in ceramica	10	2300	1	0,2	200	0,01
B	boiaccia di calce	40	1450	0,49	0,25	7,5	0,08
C	barriera al vapore in carta oleata						
D	pannello isolante in fibra di legno (tipo Steico Floor)	40	160	0,043	0,502	5	0,93
E	massetto in calcecanapulo 1:2,75 *	240	500	0,11	0,37	4,8	2,18
F	membrana antipolvere (tipo Kraft)						
G	assito in legno	40	450	0,12	0,65	60	0,33
	Resistenza esterna						0,04
Totale		<b>Spessore [mm] =</b>	<b>370</b>	<b>Resistenza [m<sup>2</sup>*K/W] =</b>			<b>3,68</b>

<b>1/ R totale [W/m<sup>2</sup>*K] =</b>	<b>Trasmittanza U =</b>	<b>0,27</b>
--	-------------------------	-------------


<b>Massa superficiale m [kg/m<sup>2</sup>]</b>	<b>225,40</b>
<b>Coefficiente di sfasamento <math>\Phi</math></b>	<b>18h'</b>

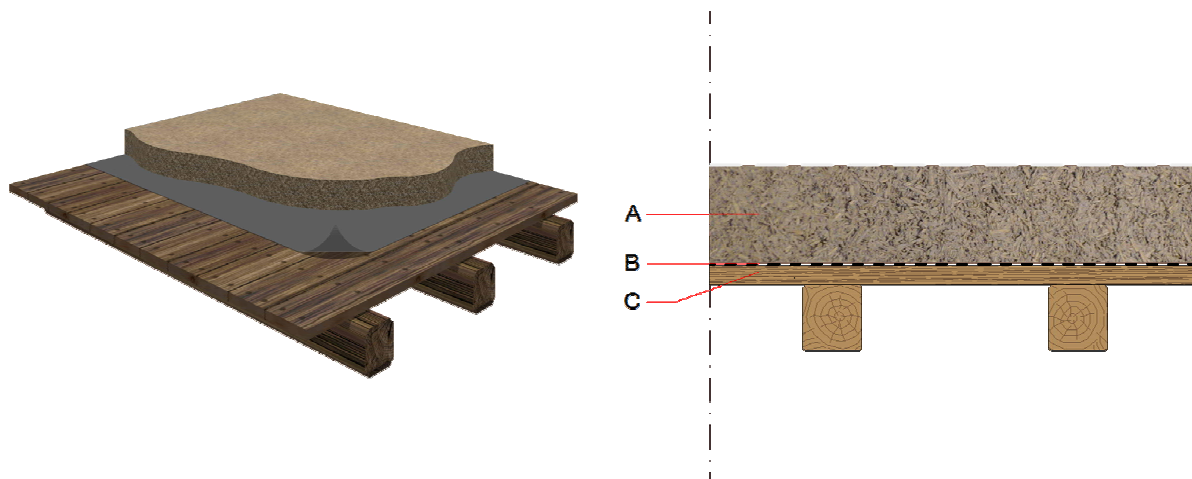
Trasmittanza massima	dal 1/1/2010	0,32
	per le detrazioni del 55% dal 26/1/2010	0,28

\* Miscela Tradical 70® Chanvribat®

Per la descrizione della stratigrafia, vedi la scheda del dettaglio costruttivo B1ba2 (nuova costruzione).

## RECUPERO

<b>B1bb1</b>	<b>PARTIZIONE INTERNA ORIZZONTALE</b> GETTO SU SUPERFICIE PIANA NON CALPESTABILE ESISTENTE IN LEGNO	
--------------	--	---



Caratteristiche termiche e igrometriche dei componenti  
Dall'interno verso l'esterno

	Descrizione strato	s [mm]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\lambda$ [W/mK]	C [kcal/kg]	$\mu$	R [m <sup>2</sup> *K/W]
	Resistenza interna						0,1
A	getto in calcecanapulo 1:1 *	200	250	0,06	0,36	11,5	3,33
B	membrana antipolvere (tipo Kraft)						
C	assito in legno	40	450	0,12	0,65	60	0,33
	Resistenza esterna						0,04
Totale		<b>Spessore [mm] =</b>	<b>240</b>	<b>Resistenza [m<sup>2</sup>*K/W] =</b>			<b>3,81</b>

<b>1/ R totale [W/m<sup>2</sup>*K]</b>	<b>= Trasmittanza U =</b>	<b>0,26</b>
--	---------------------------	-------------


<b>Massa superficiale m [kg/m<sup>2</sup>]</b>	<b>68,00</b>
<b>Coefficiente di sfasamento <math>\Phi</math></b>	<b>9h45'</b>

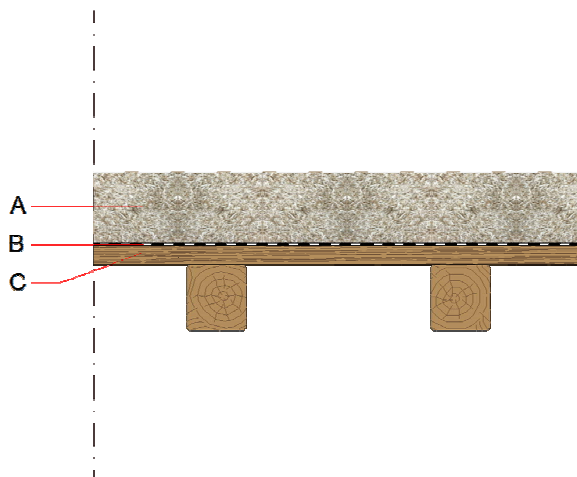
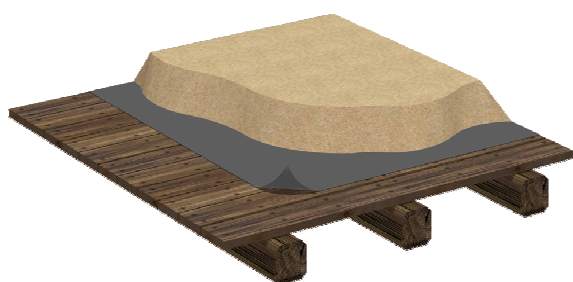
Trasmittanza massima	dal 1/1/2010	0,32
	per le detrazioni del 55% dal 26/1/2010	0,28

\* Miscela Tradical 70® Chanvribat®

Per la descrizione della stratigrafia, vedi la scheda del dettaglio costruttivo B1bb1 (nuova costruzione).

## RECUPERO

<b>B1bb2</b>	<b>PARTIZIONE INTERNA ORIZZONTALE</b> CANAPULO SFUSO SU SUPERFICIE PIANA NON CALPESTABILE ESISTENTE IN LEGNO	
--------------	---	---



Caratteristiche termiche e igrometriche dei componenti  
 Dall'interno verso l'esterno

	Descrizione strato	s [mm]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\lambda$ [W/mK]	C [kcal/kg]	$\mu$	R [m <sup>2</sup> *K/W]
	Resistenza interna						0,1
A	canapulo sfuso *	150	110	0,048	0,46	1,5	3,13
B	membrana antipolvere (tipo Kraft)						
C	assito in legno	40	450	0,12	0,65	60	0,33
	Resistenza esterna						0,04
Totale		<b>Spessore [mm] =</b>	<b>190</b>	<b>Resistenza [m<sup>2</sup>*K/W] =</b>			<b>3,60</b>

$$1/ R \text{ totale [W/m}^2\text{*K]} = \text{Trasmittanza } U = \mathbf{0,28}$$


Massa superficiale m [kg/m <sup>2</sup> ]	<b>34,50</b>
Coefficiente di sfasamento $\Phi$	<b>5h12'</b>

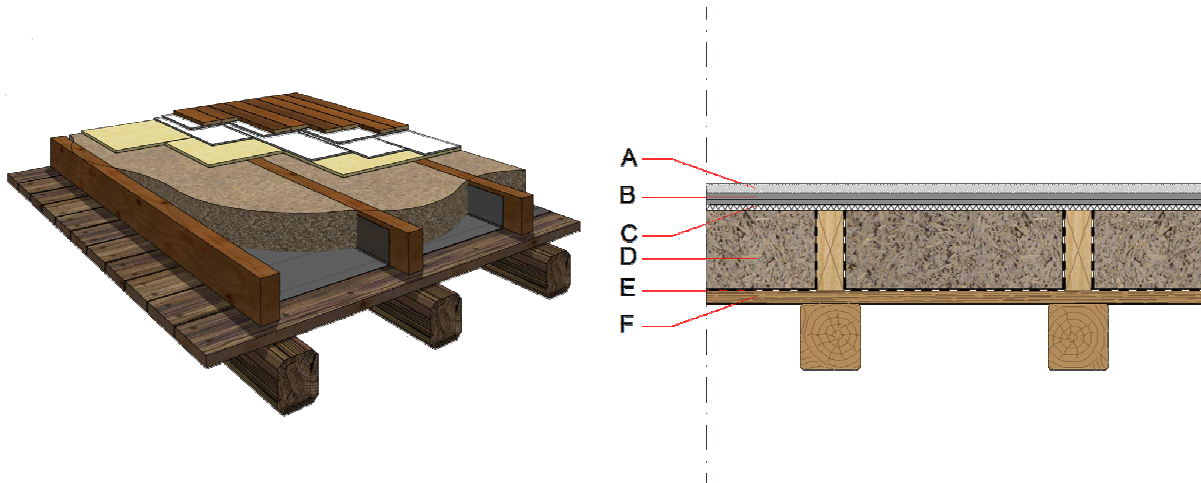
Trasmittanza massima	dal 1/1/2010	0,32
	per le detrazioni del 55% dal 26/1/2010	0,28

\* Canapulo Chanvribat®

Per la descrizione della stratigrafia, vedi la scheda del dettaglio costruttivo B1bb2 (nuova costruzione).

## RECUPERO

<b>B'1c1</b>	<b>PARTIZIONE INTERNA ORIZZONTALE</b> RIEMPIMENTO DI UN SOLAIO ESISTENTE IN LEGNO CON CALCECANAPULO	
--------------	--	---



Caratteristiche termiche e igrometriche dei componenti  
 Dall'interno verso l'esterno

	Descrizione strato	s [mm]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\lambda$ [W/mK]	C [kcal/kg]	$\mu$	R [m <sup>2</sup> *K/W]
	Resistenza interna						0,1
A	parquet in rovere inchiodato	22	800	0,17	0,65	43	0,13
B	2 pannelli in gessofibra (tipo Fermacell)	25	900	0,32	0,262	4,5	0,08
C	pannello isolante in fibra di legno (tipo Steico Underfloor)	8	250	0,05	0,51	5	0,16
D	getto in calcecanapulo 1:1 *	170	250	0,06	0,36	11,5	2,83
E	membrana antipolvere (tipo Kraft)						
F	assito in legno	27	450	0,12	0,65	60	0,23
	Resistenza esterna						0,04
Totale		<b>Spessore [mm] =</b>	<b>252</b>	<b>Resistenza [m<sup>2</sup>*K/W] =</b>			<b>3,57</b>

<b>1/ R totale [W/m<sup>2</sup>*K] =</b>	<b>Trasmittanza U =</b>	<b>0,28</b>
--	-------------------------	-------------


<b>Massa superficiale m [kg/m<sup>2</sup>]</b>	<b>96,75</b>
<b>Coefficiente di sfasamento <math>\Phi</math></b>	<b>11h56'</b>

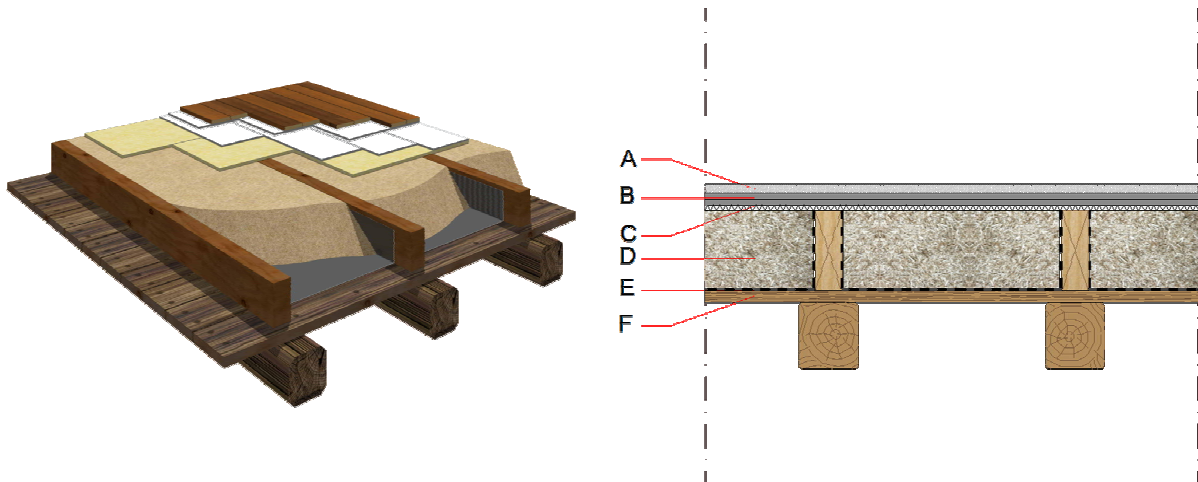
Trasmittanza massima	dal 1/1/2010	0,32
	per le detrazioni del 55% dal 26/1/2010	0,28

\* Miscela Tradical 70® Chanvribat®

Il particolare B'1c1 (25,2 cm) prevede l'installazione di travetti secondari sopra l'assito esistente in legno in modo da lasciare il solaio a vista. Sopra all'assito viene applicata una membrana antipolvere alla quale è posato il calcecanapulo di isolamento; un pannello rigido in fibra di legno tipo Steico Underfloor da 0,8 cm viene posizionato sopra i travetti e il pavimento a secco, composto da due pannelli in gessofibra da 2,5 cm e un parquet in rovere viene realizzato successivamente. Con tale sistema è possibile raggiungere un valore di trasmittanza di 0,28 W/m<sup>2</sup>K.

## RECUPERO

<b>B'1c2</b>	<b>PARTIZIONE INTERNA ORIZZONTALE</b> RIEMPIMENTO DI UN SOLAIO ESISTENTE IN LEGNO CON CANAPULO SFUSO	
--------------	---	---



Caratteristiche termiche e igrometriche dei componenti  
 Dall'interno verso l'esterno

	Descrizione strato	s [mm]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\lambda$ [W/mK]	C [kcal/kg]	$\mu$	R [m <sup>2</sup> *K/W]
	Resistenza interna						0,1
A	parquet in rovere inchiodato	22	800	0,17	0,65	43	0,13
B	2 pannelli in gessofibra (tipo Fermacell)	25	900	0,32	0,262	4,5	0,08
C	pannello isolante in fibra di legno (tipo Steico Underfloor)	8	250	0,05	0,51	5	0,16
D	canapulo sfuso *	170	110	0,048	0,46	1,5	3,54
E	membrana antipolvere (tipo Kraft)						
F	assito in legno	27	450	0,12	0,65	60	0,23
	Resistenza esterna						0,04
Totale		<b>Spessore [mm] =</b>	<b>252</b>	<b>Resistenza [m<sup>2</sup>*K/W] =</b>			<b>4,27</b>

$$1/R \text{ totale [W/m}^2\text{*K]} = \text{Trasmittanza } U = \mathbf{0,23}$$


Massa superficiale m [kg/m <sup>2</sup> ]	<b>72,95</b>
Coefficiente di sfasamento $\Phi$	<b>10h6'</b>

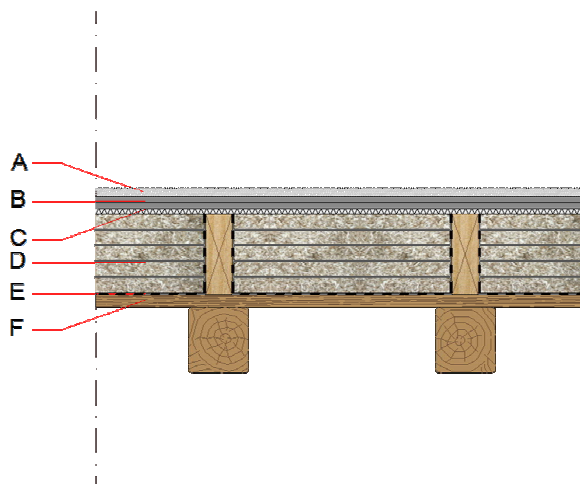
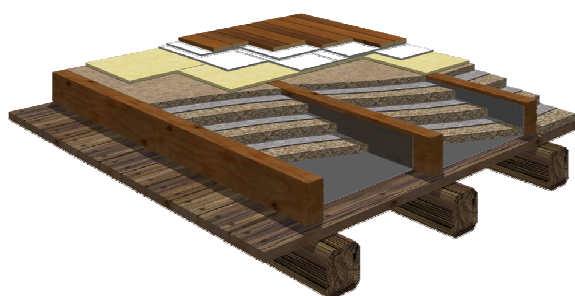
Trasmittanza massima	dal 1/1/2010	0,32
	per le detrazioni del 55% dal 26/1/2010	0,28

\* Canapulo Chanvribat®

La variante B'1c2 riprende la stratigrafia del pacchetto precedente ma con riempimento isolante in canapulo sfuso; con uno spessore uguale il valore di trasmittanza raggiunto è di 0,23 W/m<sup>2</sup>K. Si nota che il pacchetto presenta però una massa superficiale piuttosto bassa (72,95 kg/m<sup>2</sup>) e potrebbe necessitare un aumento di spessore.

## RECUPERO

<b>B'1c3</b>	<b>PARTIZIONE INTERNA ORIZZONTALE</b> RIEMPIMENTO DI UN SOLAIO ESISTENTE IN LEGNO CON STRATIGRAFIA DI CANAPULO SFUSO E CALCE	
--------------	---	---



### Caratteristiche termiche e igrometriche dei componenti

Dall'interno verso l'esterno

	Descrizione strato	s [mm]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\lambda$ [W/mK]	C [kcal/kg]	$\mu$	R [m <sup>2</sup> *K/W]	
	Resistenza interna						0,1	
A	parquet in rovere inchiodato	22	800	0,17	0,65	43	0,13	
B	2 pannelli in gessofibra (tipo Fermacell)	25	900	0,32	0,262	4,5	0,08	
C	pannello isolante in fibra di legno (tipo Steico Underfloor)	8	250	0,05	0,51	5	0,16	
D	strati alternati di canapulo sfuso e latte di calce *	200	110	0,048	0,46	1,5	4,17	
E	membrana antipolvere (tipo Kraft)							
F	assito in legno	27	450	0,12	0,65	60	0,23	
	Resistenza esterna						0,04	
Totale		<b>Spessore [mm] =</b>	<b>282</b>				<b>Resistenza [m<sup>2</sup>*K/W] =</b>	<b>4,90</b>

<b>1/ R totale [W/m<sup>2</sup>*K]</b>	<b>= Trasmittanza U =</b>	<b>0,20</b>
--	---------------------------	-------------

<b>Massa superficiale m [kg/m<sup>2</sup>]</b>	<b>76,25</b>
<b>Coefficiente di sfasamento <math>\Phi</math></b>	<b>10h36'</b>

Trasmittanza massima	dal 1/1/2010	0,32
	per le detrazioni del 55% dal 26/1/2010	0,28

\* Calce Tradical 70®, canapulo Chanvribat®

Un altro metodo per il recupero del solaio esistente in legno (B'1C3) prevede la realizzazione dell'isolamento con strati alternati di canapulo (5 cm per strato) e latte di calce con uno spessore di 20 cm. Il pavimento a secco viene realizzato come descritto nel pacchetto B'1c1. La soluzione B'1c3 prevede una trasmittanza finale di 0,20 W/m<sup>2</sup>K con spessore complessivo di 28,2 cm.



# 1. APPLICAZIONE PROGETTUALE

## 5.1 PREMESSA

A conclusione dell'ampia ricerca svolta, sugli aspetti tecnologici dell'impiego del calcecanapulo in nuova costruzione e in ristrutturazione, è stata elaborata una esercitazione progettuale, di ridotte dimensioni, con lo scopo di fornire un esempio di applicazione delle tecniche e delle stratigrafie messe a punto nella ricerca. Dopo aver studiato le tecniche costruttive dal punto di vista della loro messa in opera e i pacchetti costruttivi dal punto di vista delle loro prestazioni l'esercitazione progettuale introduce il tema dei nodi costruttivi (in questo caso di attacco a terra, attacco della copertura) e mostra dal punto di vista applicativo il funzionamento del sistema strutturale intelaiato in legno impiegato con nuove costruzioni in calcecanapulo.

L'oggetto di progetto scelto permette di coniugare sia aspetti della nuova costruzione che del recupero con calcecanapulo, in un unico manufatto. Si tratta della riqualificazione/ricostruzione di un fabbricato esistente situato in un borgo montano ai piedi dell'Appennino parmense. Il progetto si inserisce in un contesto molto stimolante, sia dal punto di vista architettonico che dal punto di vista della sperimentazione ecologica. Il borgo di Granara è stato infatti trasformato da circa vent'anni in Ecovillaggio<sup>1</sup>, luogo quindi di sperimentazione e formazione ecologica.

## 5.2 IL CONTESTO

### 5.2.1 IL CONTESTO GEOGRAFICO

La Valmozzola, dove è situata Granara, è una piccola valle inserita tra le valli del Taro e del Ceno, orientata est-ovest, originata dal torrente Mozzola che dopo essere scaturito dal monte Mariano, con un percorso di circa 11 chilometri sfocia nel fiume Taro nei pressi di Pietramogolana. L'accesso principale al Villaggio è consentito dalla strada che presso Roccamurata si dirama dalla S.S. 523 e giunge fino a Mormorola, sede del comune di Valmozzola.

Il Villaggio è composto da due gruppi di case, lontane circa 200 metri le une dalle altre. Quindi la

---

*1 L'ecovillaggio è un tipo di comunità basata esplicitamente sulla sostenibilità ambientale e costituisce un laboratorio di ricerca e sperimentazione verso stili di vita alternativi all'attuale modello socio-economico intendendo dar vita a nuove forme di convivenza, tali da rispondere all'attuale disgregazione del tessuto familiare, culturale e sociale della condizione postmoderna e globalizzata.*

località si distingue con i nomi di Granara di Sopra e di Sotto indicando così, semplicemente, anche il leggero dislivello tra i due agglomerati. Sorge su un altopiano, aperto a sud-est, a circa 630 m sul livello del mare. Le case si trovano al centro di una conca, racchiusa da due allineamenti di faglie a direzione convergente, che con pendii scoscesi di boschi e calanchi sovrastano i manti erbosi dei prati e campi circostanti. Questi prati, favorevolmente esposti al sole ospitavano originariamente frutteti, vigneti e copiose quantità di grano da cui deriva la denominazione “la Granéra”.

### 5.2.2 L'ECOVILLAGGIO DI GRANRA

Da una ventina di anni il villaggio è stato acquistato da un gruppo di persone che lo hanno recuperato dall'avanzato stato di degrado in cui lo hanno trovato, con l'intento di ridargli vita, nel rispetto dell'ambiente circostante e della storia del borgo rurale.

Il progetto di recupero del villaggio di Granara ha coinciso con la sua trasformazione in ecovillaggio, la cui progettazione è stata nel 1998 oggetto di una tesi di laurea del Politecnico di Milano<sup>2</sup>, nella quale sono stati indicati gli obiettivi, le strategie progettuali e le ideologie con le quali è stata ridata vita al villaggio:

“La scommessa del villaggio e dei suoi promotori è quella di riuscire ad offrire ad essi stessi, ai visitatori cittadini e agli abitanti circostanti, senza escludere la ricerca di un rapporto costruttivo con le amministrazioni, una visione globale in grado di mettere in relazione gli aspetti della produzione e del vissuto quotidiano, abitualmente scollegati tra loro, evidenziando il ciclo esistente tra risorse naturali, consumi energetici e risorse umane. Un progetto che cercherà di trovare una risposta alla frattura esistente tra il mondo urbano e ciò che ora è definito extraurbano, rendendo possibile e praticabile vivere e lavorare in un contesto rurale senza che questo implichi una rottura del rapporto città-campagna”.

E' con quest'ottica che il villaggio è nato e si evolve tutt'ora. Riguardo al tema dell'equilibrio tra l'ambiente naturale e quello costruito tutti gli interventi di ricostruzione e recupero dell'edificato sono avvenuti con l'impiego del materiale di recupero disponibile in loco (la pietra) in abbinamento con altri materiali naturali (la terra e il legno). Inoltre la ristrutturazione e ricostruzione del villaggio è avvenuta interamente in autocostruzione. Per fare ciò gli abitanti hanno dovuto riscoprire e imparare le tecnologie e i materiali tradizionali locali, nonché valutare con attenzione il loro abbinamento con materiali diversi (sulle murature in pietra sono spesso stati usati intonaci in terra o in terra e paglia). Solo in alcuni casi è stato necessario scendere a compromessi con l'impiego di materiali non ecologici o con la scelta di discostarsi dai metodi costruttivi tradizionali, come nel caso del cemento, impiegato per le fondazioni e le coperture realizzate in tegole invece che con le tradizionali beole, di difficile reperimento.

L'approccio è stato quello di ricostruire e ristrutturare mantenendo la distribuzione degli spazi esistente, cercando di rispettarla integralmente (ad eccezione delle serre esterne aggiunte). Inoltre per il contenimento dei consumi sono stati sfruttati alcuni accorgimenti per l'assegnazione funzionale degli spazi considerando l'orientamento solare (camere da letto a est, stanza comuni a sud e ovest).

Al di là della soglia lo spazio esterno diviene luogo di relazione e condivisione, si perdono i confini. La maggior parte delle attività si svolgono in funzione anche dei ritmi stagionali. Per esempio nel periodo

---

*2 F. Bovo, L. Carminati, D. Gerratana, M. Pianta, prof.G.Rizzi, a.a. 1997/98, Recupero di un villaggio rurale montano nell'appennino parmense: l'Ecovillaggio di Granara, Facoltà di Architettura, Politecnico di Milano*

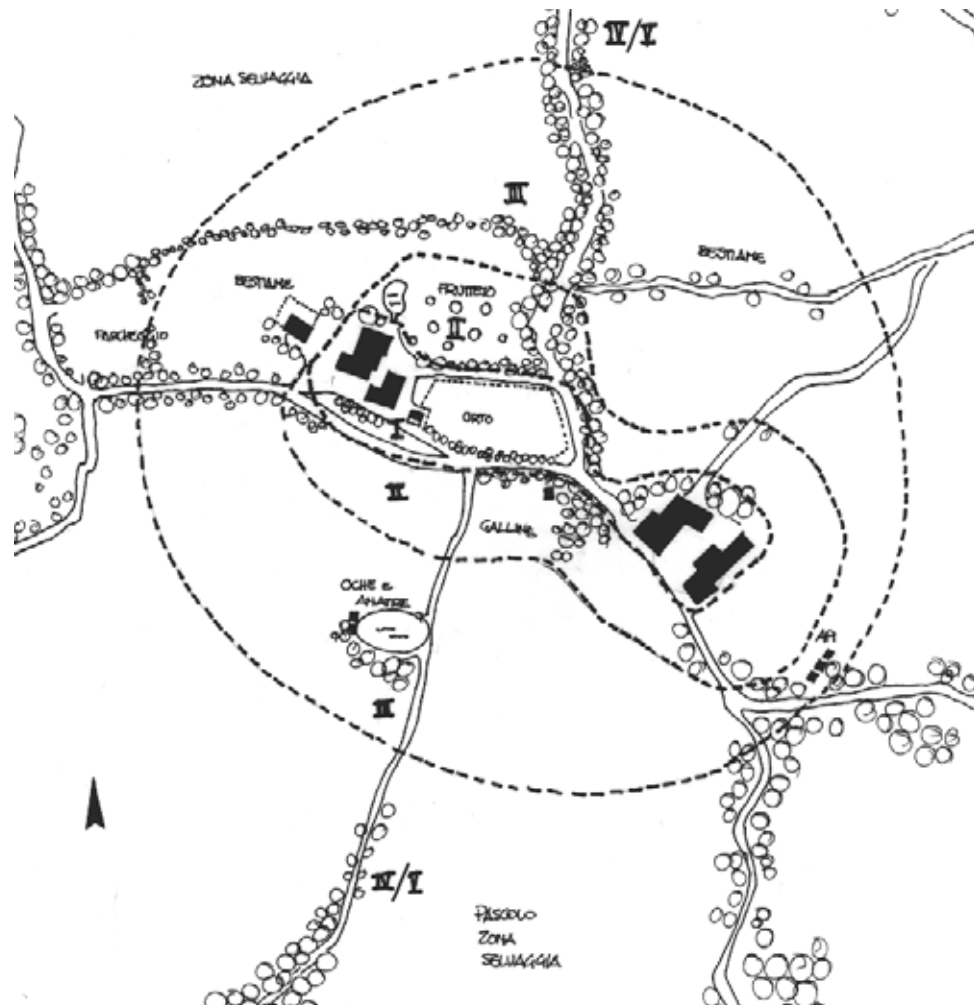


Fig. 5.1 Mappa del villaggio originario di Granara



Fig. 5.2-5.3 1990: immagini del villaggio prima del recupero

estivo le attività si svolgono principalmente all'esterno.

Uno degli scopi del villaggio è quello dell'impiego di energie rinnovabili: una delle sue attività è la sperimentazione e l'autocostruzione di impianti ecologici, quali l'impianto di fitodepurazione delle acque, il sistema di compostaggio dei compost toilet e gli impianti fotovoltaici ed eolici.

In quanto ecovillaggio, Granara, ha anche come scopo primario quello di essere aperto alla formazione e alla sperimentazione di tecnologie costruttive innovative. A questo proposito il villaggio ha creato una rete di contatti con diverse associazioni e in particolare collabora da tempo con il Politecnico di Milano per l'organizzazione di seminari applicativi sulle tecniche di costruzione con materiali naturali, quali la terra cruda e la paglia.

### 5.3 L'APPROCCIO PROGETTUALE

Il nostro intervento consiste nella ricostruzione di un edificio di 30 mq annesso a quello che una volta era il Granaio (oggi viene ancora chiamato così) e che oggi consiste in uno spazio comune di ritrovo per l'intero villaggio. L'edificio originario non è mai stato ristrutturato né consolidato ed è ora in stato di rudere: il tetto e parte dei muri sono crollati ed i materiali di cui erano composti sono già stati impiegati per la ricostruzione di altre parti del villaggio. E' per questo motivo che l'intervento non può che essere una nuova costruzione, inserita però in un contesto molto particolare, in cui gli interventi di recupero già attuati sono stati effettuati rispettando sempre l'aspetto originale dei manufatti, per ciò che riguarda le volumetrie, le aperture, i materiali (dove possibile).

Le possibili vie di intervento prese in considerazione sono state 3:

- La fedele ricostruzione dell'edificio preesistente, come "falso storico"
- L'abbattimento del rudere preesistente e la sostituzione con una nuova costruzione che mantenga le volumetrie preesistenti
- Una nuova costruzione che preveda l'integrazione dell'elemento preesistente, mantenendo una netta distinzione di stile e materiali tra il nuovo e il vecchio<sup>3</sup>

La prima strategia sarebbe stata possibile nel caso in cui vi fosse stata disponibilità di pietra di recupero in loco, in quel caso si sarebbe potuta realizzare una parete in pietra con una controparete isolante interna in calcecanapulo. Questa via è stata esclusa sia per l'assenza di materiale di recupero in loco che perché questa tipologia di intervento avrebbe portato alla realizzazione di un "falso", la facciata dell'edificio non avrebbe denunciato in maniera trasparente i confini tra la preesistenza e la nuova costruzione.

La seconda via è stata invece esclusa perché avrebbe cancellato l'unico segno concreto di preesistenza rimasta e sarebbe risultata fuori luogo rispetto alla modalità di recupero fino ad ora impiegata nel villaggio e in particolare nell'edificio adiacente (il Granaio). L'unico ricordo dell'esistente avrebbe consistito nella posizione, volumetria ed eventualmente nella forma dell'edificio nuovo.

La via scelta è stata la terza che permette di coniugare il mantenimento della testimonianza storica preesistente con il riconoscibile segno del nuovo intervento.

Nel rispetto della strategia di recupero impiegata nel resto del villaggio si è scelto di non deformare le volumetrie preesistenti e di mantenere le aperture nelle posizioni originarie.

Inoltre così come in altri punti del villaggio la scelta è quella di far emergere l'elemento di sperimentazione ed innovazione, cioè l'uso del calcecanapulo. La scelta di inserire questo materiale nella costruzione di

---

*3 In riferimento alla teoria di C.Boito, 1893.*



Fig. 5.4 Oggi: Granara di sopra



Fig. 5.5 Oggi: Granara di sotto



Fig. 5.6 Realizzazione di mattoni in terra cruda, seminario Maggio 2012



Fig. 5.7 Realizzazione di intonaci in terra cruda, seminario Maggio 2012



Fig. 5.8 Teatro all'aperto durante il Festival estivo



Fig. 5.9 Tettoia fotovoltaica



Fig. 5.10 L'area di progetto



Fig. 5.11 Il rudere preesistente

Granara è parsa una soluzione coerente con lo spirito del luogo: una delle funzioni principali di Granara, così come degli ecovillaggi in genere, è quella di essere oltre che uno spazio di sperimentazione anche un luogo di dimostrazione. Le esperienze innovative e sperimentali devono essere facilmente visibili e apprendibili dai visitatori. Granara ha peraltro già ospitato alcune sperimentazioni delle tecniche costruttive in calcecanapulo (intonaci e contropareti) nel seminario di Maggio 2012 con gli studenti del Politecnico di Milano del Laboratorio di Costruzione dell'Architettura 1 con il prof. G.Scudo e prof. S.Sabbadini (vedi Allegato 1).

Coerentemente con l'ideologia di Granara il progetto viene pensato nell'ottica di una sua possibile autocostruzione, o come spesso avviene a Granara una realizzazione tramite l'aiuto di volontari o partecipanti a seminari sulla tecnica innovativa.

#### 5.4 IL PROGETTO

Il progetto prevede la realizzazione di un piccolo spazio comune (slp 25 mq) annesso all'esistente ostello. Si tratta di una sala lettura o sala studio accessibile a tutti gli abitanti.

Questa funzione si inserisce all'interno di un insieme di spazi comuni distribuiti nel villaggio. Concepito soprattutto per essere vissuto d'estate e in primavera esso ospita luoghi di aggregazione e relazione all'aperto quali i campi di gioco a sud ovest, la zona pranzo e ritrovo a nord est (Obelix), le due piazze di Granara di sopra e Granara di sotto, il palco all'aperto a nord ovest e le case gioco per bambini.

Inoltre vi sono alcuni luoghi comuni coperti quali la sala da pranzo e ritrovo dell'ostello di Granara di sotto, la nuova biblioteca, detta casa passiva, riscaldata con il calore solare, posizionata poco più a nord del villaggio.

Dopo aver rilevato le funzioni esistenti si è pensato di progettare uno spazio che possa servire da studio e archivio del villaggio e contemporaneamente da sala lettura e relax, usufruibile anche d'inverno. Essa si apre verso il prato a sud est che d'estate si trasforma in campeggio e verso il quale viene pensato l'affaccio di una terrazza. Dal lato nord ovest invece l'edificio si chiude, con una parete ceca, così come avveniva nell'edificio originario.

Il progetto consiste nell'integrazione del rudere esistente (di 1,35 m di altezza nel punto più basso e 1,90 m nel punto più alto) in una nuova struttura in legno con tamponamento in getto in calcecanapulo.



Fig. 5.12-5.13 Integrazione di una nuova struttura in quella preesistente in pietra a Umbau eines Wohnhauses, Chamoson



Fig. 5.14 Netta distinzione tra nuovo intervento ed edificio preesistente, Erweiterung Kunstmuseum Mortizburg in Halle



Fig. 5.15 Inserimento di una "scatola" in legno nelle pareti esistenti in pietra, Recupero a Pianezzo, Canton Ticino

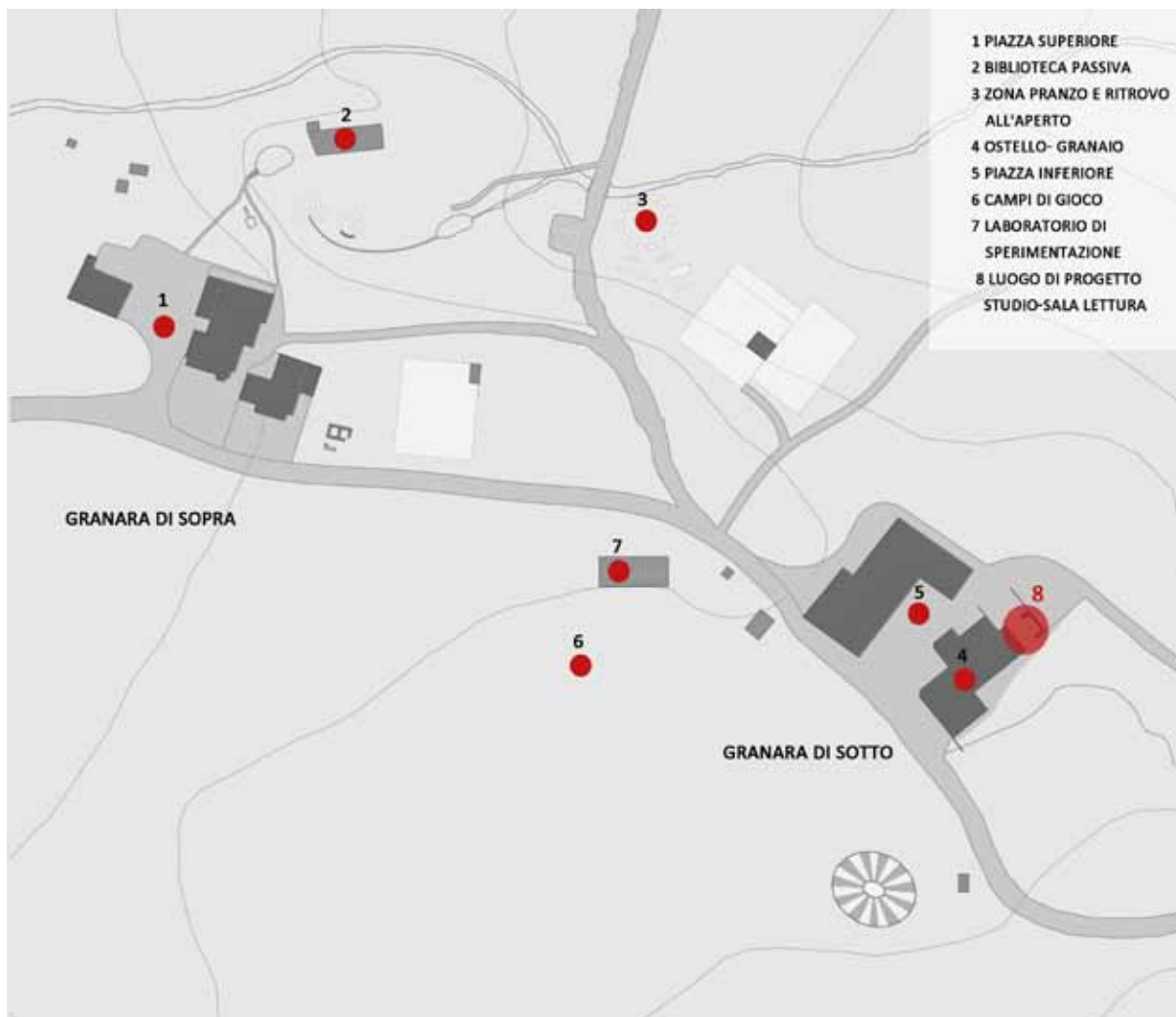


Fig. 5.16 Gli spazi comuni di Granara e la loro destinazione funzionale

Il sistema portante scelto è quello intelaiato, perché risulta adatto a un progetto di piccole dimensioni e risulta di più facile montaggio nel caso di autocostruzione.

Per preservare le volumetrie precedenti è stata pensata una soluzione strutturale con una trave a ginocchio che poggia sui muri esistenti in pietra e permette un allineamento in facciata della muratura in pietra e di quella in calcecanapulo. All'interno le nicchie formate dall'oggetto del muro e dai montanti interni vengono sfruttate per delle mensole e librerie.

La forma attuale del rudere con una parte più bassa nel mezzo della parete a nord, viene sfruttata per l'inserimento di una finestra di piccole dimensioni che permetta, insieme alla grande apertura a sud est, una buona ventilazione.

Dal lato sud ovest, dove l'edificio coincide con l'ostello viene continuata la struttura e realizzata una controparete in calcecanapulo di 20 cm di spessore per evitare la formazione di ponti termici in corrispondenza della giunzione tra le due pareti e per creare una continuazione interna del materiale.



## CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

---

---

La stesura del lavoro è avvenuta tramite approfondimenti e incontri con professionisti del settore ed anche con le maestranze e gli operatori di cantieri, tramite i quali è stato possibile ottenere molte delle informazioni e considerazioni pratiche relative alle tecniche di impiego del calcecanapulo. Molto utile è stato il supporto delle schede di cantiere elaborate e messe a disposizione da INATER, che hanno permesso una ampia integrazione e un confronto con le esigue nozioni disponibili nella documentazione bibliografica. Questo materiale, integrato a quello raccolto durante le visite in cantiere e alle esperienze dirette di messa in opera hanno permesso una approfondita conoscenza delle tecniche costruttive, sia dal punto di vista delle differenti procedure di preparazione e di riconoscimento delle mescole che della loro messa in opera. I risultati ottenuti riguardo a questa sezione della ricerca possono essere considerati esaustivi, seppure in pochi casi sia stata riscontrata una mancanza di dati effettivi. Ne sono il caso le tecniche di applicazione a spruzzo per le quali sono disponibili pochissime fonti scritte. Le informazioni relative a queste tecniche sono infatti state elaborate soprattutto in base a una ampia documentazione fotografica e in base a testimonianze raccolte tramite il contatto con imprese edili esperte in tali tecniche. Non sono però disponibili dati relativi alle caratteristiche degli elementi costruttivi ottenuti con tale metodo applicativo rispetto a quello manuale.

Di basilare importanza per la stesura di questa ricerca sono state le “Règles professionnelles d’exécution” francesi, regole professionali di impiego del calcecanapulo certificate ed approvate dagli enti francesi. Queste sono state utilizzate come punto di riferimento anche per l’articolazione degli sviluppi di tecniche consolidate ma non ancora certificate e di altre attualmente in fase di sperimentazione.

L’abaco dei pacchetti costruttivi è risultato essere la parte più innovativa di tale lavoro perché ha fatto emergere le molteplici criticità rispetto all’applicazione di stratigrafie indicate dalla documentazione straniera (francese ed inglese) alla situazione normativa italiana. Gli spessori di calcecanapulo per la realizzazione di elementi costruttivi, indicati dai riferimenti bibliografici, sono risultati spesso insufficienti al soddisfacimento dei requisiti italiani ed è quindi stato necessario incrementarne gli spessori di calcecanapulo oppure trovare delle soluzioni di abbinamento con altri materiali. Difficoltà sono state riscontrate nell’elaborazione di soluzioni costruttive per interventi di recupero, rientranti nei requisiti normativi per l’ottenimento delle detrazioni fiscali del 55 %. Il motivo di tali difficoltà è dovuto in gran parte alla necessità di aumentare notevolmente gli spessori delle stratigrafie perciò risulta necessaria

una verifica dell'adeguatezza dell'applicazione del calcecanapulo in tali casi.

Tramite l'esperienza diretta in cantiere è stato possibile valutare la semplicità costruttiva delle tecniche con il calcecanapulo e sono stati ponderati i fattori di maggiore incidenza sulla sua resa (consistenza dell'impasto, modalità di asciugatura, modalità di posa), tramite la messa in pratica delle nozioni apprese dalla documentazione scritta. Le sperimentazioni di un nuovo sistema di aggrappo di contropareti in calcecanapulo mediante bacchette in bambù, costituiscono un possibile punto di partenza per l'elaborazione di ulteriori esperienze sul tema tramite prove tecniche che offrano dati prestazionali.

Mentre è stato possibile effettuare un dettagliato studio sulla messa in opera delle tecniche con il calcecanapulo e verificare l'efficacia delle singole unità tecnologiche, per quanto riguarda lo studio dei pacchetti costruttivi sono state riscontrate maggiori difficoltà a causa della quasi totale assenza di fonti disponibili. Ulteriori approfondimenti dei dettagli costruttivi dovrebbero affrontare anche il tema dei nodi costruttivi (attacco a terra, attacco del solaio, attacco della copertura). Risulta perciò necessario svolgere uno studio dettagliato di questo tema, nonché una valutazione del comportamento energetico dell'interno edificio.

Il presente studio ha pertanto affrontato un'ampia ricerca sul tema del calcecanapulo a livello internazionale, approfondendone gli aspetti tecnologici e fornendo indicazioni per future ricerche che approfondiscano ulteriormente il tema, nell'intento di offrire un valido supporto ai professionisti per lo sviluppo del calcecanapulo nel settore edile italiano.

## BIBLIOGRAFIA

### LIBRI

- Beavan R., Woolley T., *Hemp Lime Construction- A guide to building with hemp lime composites*, HIS Bre Press, Bracknell, 2088
- Bòcsa I., Karus M., *The cultivation of hemp*, Edizioni Hemptech, Sebastopol, California, 1998
- Bouloc P., *Le chanvre industriel: Production et utilisations*, France Agricole, Paris, 2006
- Capasso S., *Canapicoltura e sviluppo dei Comuni atellani*, Edizioni Istituto di Studi Atellani, S.Arpio, 1994
- INATER, *21 Sguardi sulla costruzione ecologica in Europa, Testimonianze & Insegnamenti*, Gruppo di lavoro europeo INATER', 2012
- Grimaldi A., Mastagni s., *Canapa italiana*, Millelire Stampa Alternativa, 1997
- Lumina C., *Produzione tradizionale della calce al Ballenberg*, Nardini Editore, Firenze, 2009
- Piazza M., Tomasi R., Modena R., *Strutture in Legno, Materiale, calcolo e progetto - secondo le nuove normative europee*, Hoepli Editore, Milano, 2009
- Ruta D., *La canapa*, Edizioni Giovanni Bozzetto Spa, Filago, 1995
- Schiele E., Berens L.W., *La Calce*, Edizioni Tecniche ET, Milano, 1979

### RELAZIONI DI RICERCA

- INRA, *Etude des caracteristiques environnementales du chanvre par l'analyse de son cycle de vie*, Studio del ministero dell'agricoltura e della pesca francese, 2066
- Busbridge R., Rhydwen R., *An investigation of termal propreties of hemp anl clay monolithic walls*, Studio dell'University of East London School of Computing and Technology, 2010
- BRE, *Final Report on the Construction of the Hemp Houses at Haverhill, Suffolk*, Building Research Establishment, 2002
- CAT, *Construction of the WISE building at the Centre for Alternative Technology*, Machynlleth, Wales, 2008

- Rhydwen R., *A model for uk hemp cultivation*, Study of the University of East London, School of Computing and Technology, 2006
- Robiola P., Delmastro R., *Canapa :finalmente un macchinario "agricolo" per la produzione di fibra tecnica*, Ricerca finanziata da Regione Piemonte, 2010

## MANUALI TECNICI

- Equilibrium, *Manuale tecnico*, 2012 ([www.equilibrium-bioedilizia.it](http://www.equilibrium-bioedilizia.it))
- INATER, *Quadri di riferimento per la messa in opera di 8 tecniche*, Schede tecniche, Collectif projet INATER', 2011 ([www.inater.eu](http://www.inater.eu))
- Madia T., Tofani C., *La coltivazione della canapa, una semplice guida per gli agricoltori che desiderano coltivare canapa (Cannabis sativa)*: Coordinamento Nazionale per la Canapicoltura, 1998
- Robin M.A., Eesychanvre, *Build differently, How? Why?*, 2009
- SEBTP , *Construire en chanvre: règle professionnelle d'exécution de murs/ d'enduit/ isolation de sol/ isolation de toiture en béton de chanvre*, Collection recherche développement métier, 2007
- SEBTP, *Construire en chanvre: les bonnes pratiques*, Collection recherche développement métier, 2007
- Technichanvre, *Les techniques d'isolation chanvre : pour une grande durabilité: Cahier Technique Banchage/ Brique Chanvribloc/ Dallage/ Enduit*, 2009 ([www.technichanvre.fr](http://www.technichanvre.fr))

## TESI

- Bovo F., Carminati L., Gerratana D., Pianta M., rel. Rizzi G., correl. Costa E., *Recupero di un villaggio rurale montano nell'appennino parmense : l'ecovillaggio di Granara*, Tesi di laurea specialistica in Architettura, Politecnico di Milano, 1997/98
- Busbridge R., *Hemp-Clay: an initial investigation into the thermal, structural and environmental credentials of monolithic clay and hemp wall*, Tesi di MSC Architecture: Advanced Environment & Energy Studies, Graduate School of the Environment, CAT, 2009
- Carapezza A., Cavana L., *La terra cruda per il nuovo panorama di contenimento dei*

*consumi energetici : abachi sezioni murarie, analisi prestazionali di finiture in terra, esercizio progettuale*, Tesi di laurea specialistica in Architettura, Politecnico di Milano, 2007

- Evrard A., *Transient hygrothermal behaviour of Lime-Hemp Materials*, Tesi del Ecole Polytechnique de Louvain Unité d'Architecture, 2008
- Lewis J., *Managing moisture in the renovation of solid wall housing stock, a comparative study of hemp lime against Dry-lining*, Tesi del Graduate School of Environment, CAT, 2010
- Maskin N., *The Carbon Sequestration Potential of Hemp-binder: A study of embodied carbon in hemp-binder compared with dry lining solutions for insulating solid walls*, Tesi di MSC Architecture: Advanced Environment & Energy Studies, Graduate School of the Environment, CAT, 2010
- Palmar C., *A comparison of moisture content versus thermal conductivity of low impact construction materials: straw and hemp with binders*, Tesi del Graduate School of Environment, CAT, 2010
- Ronchetti P., *The barriers of the mainstreaming of lime- hemp: a systematic approach*, A dissertazione for the M.Sc. in Sustainable Development, Dublin Institute of Technology School of Spatial Planning Department of Environment and Planning, 2007
- Vernelli V., *Analisi LCA della coltivazione della canapa e i suoi possibili utilizzi nel campo della bioedilizia*, Tesi di laurea specialistica in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio, Politecnico di Milano, 2011

#### **ATTI DI CONVEGNO**

- Arnaud L., *Comparative study of hygrothermal performances of building materials*, 11th International Conference on Non-conventional Materials and Technologies, NOCMAT, 2009
- Arnaud L., *Mechanical and thermal properties of hemp mortars and wools: experimental and theoretical approaches*, Conferenza on Bioresource Hemp and other fiber corps, Wolfsburg, 2000
- Butschi P. Y., *Utilisation du chanvre pour la préfabrication d'éléments de construction*, Congrès annuel de la Société canadienne de génie civil, Moncton, 2003
- Peroni I., Giampaoli G., Quaglia C., *Promoting the cultivation and development of*

*hemp in Italy*, Second international conference on innovative natural fibre composites for industrial applications, Rome, 2009

- Evrard, A., *Sorption behaviour of Lime-Hemp Concrete and its relation to indoor comfort and energy demand*, The 23rd Conference on Passive and Low Energy Architecture, Geneva, 2006

#### **ARTICOLI**

- Colonna D., *I vantaggi antisismici delle strutture in legno*, EdilPortale, Maggio, 2005
- Rattazzi A., Polidoro C., *La calce nel sistema LEED- Un materiale antico con un futuro 'verde' e 'sostenibile'.* "Recupero e Conservazione", n. 90, p. 46-53, 2010

#### **COMMUNICAZIONI PERSONALI**

- Sabbadini S., Disstudio, Via Piolti de' Bianchi 48, 20129 Milano, visita, osservazioni ed esperienze pratiche in cantiere di Cascina Corte Sacro Cuore a Casatenovo (LC), 2012
- Vitali A., responsabile tecnico dell'Equilibrium Srl, Via Mons. Moneta 12, 23900, 2012

#### **SITOGRAFIA**

- [www.assocanapa.it](http://www.assocanapa.it)
- [www.bancadellacalce.it](http://www.bancadellacalce.it)
- [www.batiethic.fr](http://www.batiethic.fr)
- [www.betonvegetal.fr](http://www.betonvegetal.fr)
- [www.bcb-tradical.com](http://www.bcb-tradical.com)
- [www.canosmose.co](http://www.canosmose.co)
- [www2.cat.org.uk](http://www2.cat.org.uk)
- [www.chanvribloc.com](http://www.chanvribloc.com)
- [www.construction-chanvre.asso.fr](http://www.construction-chanvre.asso.fr)
- [www.easychanvre.fr](http://www.easychanvre.fr)
- [www.equilibrium-bioedilizia.it](http://www.equilibrium-bioedilizia.it)
- [www.fibranova.it](http://www.fibranova.it)
- [www.forumcalce.it](http://www.forumcalce.it)
- [www.inater.it](http://www.inater.it)
- [www.kenaf-fiber.com](http://www.kenaf-fiber.com)
- [www.modcell.com](http://www.modcell.com)
- [www.technichanvre.fr](http://www.technichanvre.fr)