

POLITECNICO DI TORINO
FACOLTA DI ARCHITETTURA PER IL PROGETTO SOSTENIBILE



L'INTEGRAZIONE DI MATERIALI COMPOSITI A BASE DI CANAPA E CALCE NELL'EDILIZIA NEPALESE
TESI DI LAUREA MAGISTRALE
IN ARCHITETTURA PER IL PROGETTO SOSTENIBILE
FEBBRAIO 2018

Relatrice: Arch. Daniela Bosia
Correlatore: Arch. Roberto Pennacchio

Candidato: Enrico Caiolo

L'integrazione di materiali compositi a base di canapa e calce nell'edilizia Nepalese.

INDICE

Introduzione	Pag.1
1-La Canapa	Pag.2
1.1 la pianta	Pag.2
1.2 origini, diffusione ed usi tradizionali	Pag.4
1.3 la cannabis in asia meridionale	Pag.5
1.4 la cannabis in nepal	Pag.6
2-La Canapa in edilizia	Pag.9
2.1 i materiali bio-compositi a bas di canapulo e calce	Pag.11
2.1.1 la canapa	Pag.11
2.1.2 produzione	Pag.12
2.1.3 trasformazione	Pag.13
2.1.4 la calce	Pag.14
2.1.5 produzione	Pag.15
2.1.6 perche è importante usare calce idrata	Pag.15
2.1.7 impatto ambientale	Pag.15
2.1.8 le miscele	Pag.16
2.2 messa in opera	Pag.19
2.2.1 applicazione manuale	Pag.20
2.2.2 sistema strutturale	Pag.20
2.2.3 caratteristiche dell'impresa:	Pag.22
2.2.4 esigenze specifiche di cantiere	Pag.23
2.2.5 progettazione degli elementi e relative tecniche costruttive	Pag.23
2.2.5.1 preparazione della miscela	Pag.23
2.2.5.2 muro di tamponamento	Pag.25
2.2.5.3 attacco a terra	Pag.26
2.2.5.4 infissi e aperture	Pag.27
2.2.5.5 impiantistica	Pag.27
2.2.5.6 intonaco e finiture	Pag.28
2.2.5.7 massetto calpestabile	Pag.29
2.2.5.8 solai non calpestabili e coperture inclinate	Pag.30

2.3 proprietà	Pag.31
2.3.1 comportamento meccanico	Pag.32
2.3.2 resistenza al fuoco	Pag.34
2.3.3 permeabilità al vapore e igroscopicità	Pag.34
2.3.4 proprietà termiche	Pag.35
2.3.5 proprietà acustiche	Pag.36

3-Canapulo e calce in Nepal **Pag.37**

3.1 breve storia e contestualizzazione	Pag.39
3.2 produzione	Pag.40
3.2.1 la canapa	Pag.40
3.2.2 la calce	Pag.41
3.3 sperimentazioni	Pag.41
3.3.1 le miscele	Pag.41
3.3.2 messa in opera	Pag.42
3.3.2.1 elementi di collegamento struttura tamponamento	Pag.42
3.3.2.2 sistemi di casseratura	Pag.43
3.3.2.3 finitura delle pareti	Pag.43
3.4 criticità	Pag.44
3.4.1 produzione canapulo	Pag.44
3.4.2 sistema strutturale	Pag.44
3.4.3 casseratura	Pag.44
3.4.4 altri elementi costruttivi	Pag.44

4-PANORAMICA SULL'EDILIZIA NEPALESE **Pag.45**

4.1 la casa rurale tradizionale nepalese	Pag.47
4.2 tecniche costruttive più diffuse	Pag.50
4.2.1 case tradizionali in pietra non squadrate	Pag.50
4.2.2 earthbag	Pag.54
4.2.3 cseb-blocchi in terra compressa stabilizzati	Pag.56
4.2.4 telaio in bambù con tamponamento in torchis	Pag.60

5-IL METODO DI INTEGRAZIONE **Pag.63**

5.1 il design catalogue per la ricostruzione	Pag.63
5.2 l'integrazione delle tecniche in canapulo calce con i modelli approvati dal governo nepalese	Pag.65
5.2.1 il modello ibrido: muratura in pietra e telaio in bambù.	Pag.65
5.2.2 perchè il bambù	Pag.65
5.2.3 le fondazioni	Pag.67
5.2.4 integrazione del massetto in canapulo e calce nel solaio controterra	Pag.68
5.2.5 muratura e telaio in bambù	Pag.69

5.2.6 controparete canapulo e calce su muratura in pietra	Pag.70
5.2.7 solaio interpiano	Pag.71
5.2.8 integrazione isolamento in canapulo e calce nel solaio interpiano	Pag.72
5.2.9 muro di tamponamento al primo piano	Pag.73
5.2.10 sostituzione del muro di tamponamento con il getto in canapulo e calce	Pag.74
5.2.11 copertura	Pag.75
5.2.12 isolamento della copertura con la miscela in calce e canapulo	Pag.76

BIBLIOGRAFIA

Pag.77

INTRODUZIONE

Con questa tesi si è voluta sviluppare una metodologia di utilizzo delle tecniche costruttive in canapa e calce nell'edilizia Nepalese a partire da considerazioni di carattere tecnico ma anche socio-economico e in termini di reale fattibilità dell'operazione. L'idea nasce dal tentativo di provare a fornire una possibile risposta all'enorme carenza di materiali da costruzione che è seguita al devastante terremoto che ha colpito il Nepal nel 2015 in cui sono crollate circa mezzo milione di case e altrettante hanno subito danneggiamenti. Il 95% delle quali si trovano in aree rurali spesso difficilmente accessibili ai mezzi adibiti al trasporto di materiali edili. In questa situazione l'esigenza primaria del governo del Nepal e delle numerosissime organizzazioni non governative presenti sul territorio, nell'impossibilità di strutturare un piano di ricostruzione ad opera di professionisti, è stata quella di fornire alla popolazione il supporto e le conoscenze necessarie affinché possano provvedere alla ricostruzione delle proprie case in prima persona e con l'aiuto della propria comunità e con materiali reperibili per la grande maggioranza a livello locale. La canapa è una pianta che cresce spontanea e in abbondanza in tutto il Nepal, è da sempre sfruttata dalla popolazione locale per i più svariati usi e nonostante il proibizionismo da cui è stata colpita negli ultimi 50 anni ha continuato a far parte in modo inscindibile della cultura Nepalese. La crescente popolarità delle costruzioni in canapa a livello internazionale degli ultimi anni, cresciuta esponenzialmente di pari passo con la fine del proibizionismo in alcuni paesi e lo sdoganamento della canapa industriale in altri, ha portato allo sviluppo di diverse tecniche costruttive e possibili utilizzi della canapa in edilizia andando a svelare proprietà importanti in termini di eco-compatibilità, prestazioni termiche acustiche e igrometriche, salubrità e comfort abitativo, facilità di utilizzo e versatilità. L'idea di questa ricerca nasce da questi presupposti, coadiuvati da un'esperienza di due mesi effettuata direttamente sul campo e dalla conoscenza e successiva collaborazione con

un'organizzazione locale che già si stava occupando di questo tema. Si è partiti da un'analisi dello stato dell'arte delle costruzioni in canapa a livello internazionale, con un approfondimento sulle tecniche costruttive che non si avvalgono di macchinari e attrezzature fuori portata per un paese in via di sviluppo. Si è fatta quindi una valutazione delle esperienze e sperimentazioni portate avanti in Nepal fino ad oggi evidenziandone i limiti e le criticità, per individuare errori e problematiche a cui trovare una risposta. In seguito a un'attenta analisi sulle peculiarità e specificità dell'edilizia Nepalese e in particolare di quelle pratiche costruttive che condividono i principi di sostenibilità ambientale, sociale ed economica propri delle costruzioni in canapa, è stato individuato un metodo che permettesse di rispondere in modo soddisfacente al quesito fondante di questa tesi. Il metodo elaborato consiste nello sfruttare una tipologia edilizia approvata dalle istituzioni che si occupano della ricostruzione post terremoto apportandovi quelle varianti necessarie per integrare in essa l'utilizzo del materiale composito a base di canapa e calce e descriverne le modalità di messa in opera e il processo costruttivo.



Fig. 1.0 Campo di canapa selvatico in Himalaya. (National Geographic)

1 LA CANAPA

1.1 LA PIANTA

La Cannabis è un genere di pianta erbacea della famiglia della Cannabacee, il numero di specie che ne fanno parte è tuttora in discussione, si possono distinguere tre specie: C. Sativa, C. Indica e C. Ruderalis o considerare queste tre delle sottospecie della stessa pianta.

È una pianta annuale e dioica (piante con fiori o solo maschili o solo femminili), in casi critici o in ambienti particolarmente ostili si possono manifestare casi di ermafroditismo. Il fusto eretto si presenta pieno alla base e cavo verso la parte sommitale, con struttura esagonale, ruvido e ricoperto da peluria, l'altezza varia tra gli 80cm e i 5m, anche la tipologia e quantità di ramificazioni è molto variabile. La sezione del fusto è composta esternamente della corteccia e internamente da un nucleo legnoso detto canapulo; tra la corteccia e il legno troviamo la zona di accrescimento del fusto detta cambio, aderente al canapulo, e una seconda percorsa da fibre formate da vasi legnosi(xilema) e vasi liberiani(floema), aderente alla corteccia.

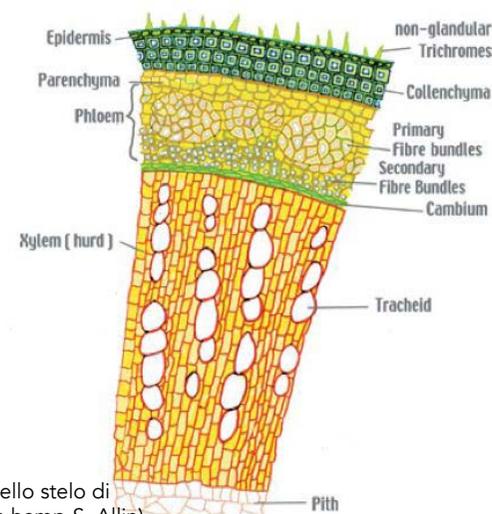


Fig 1.1 Sezione dello stelo di canapa (Building with hemp-S. Allin)

Le radici sono costituite da un lungo fittone con piccole ramificazioni laterali, crescono molto il primo mese per poi lasciar prevalere il fusto che cresce molto rapidamente fino alla fase di fioritura. La foglia, facilmente riconoscibile per la sua forma peculiare, è spicciolata, palmata e composta da foglioline lanceolate e seghettate, opposte o alternate in base alla varietà e al grado di crescita della pianta. Si sviluppano inizialmente da un'unica fogliolina per poi diventare 3-5-7 fino a 13 se la quantità di luce lo permette. I fiori si sviluppano raggruppati a formare delle inflorescenze; i fiori maschi sono costituiti da un calice e cinque petali gialli-verdi; i fiori femmina da un calice contenente un ovulo pendulo da cui si sviluppano due pistilli che possono raggiungere i 20mm. La cannabis è una delle piante in grado di produrre più polline, fino a 30-40g, che viene sparso dal vento grazie a nubi che raggiungono i 30m di altezza garantendo la fecondazione anche a distanza di km. Nonostante le piante di Cannabis siano termofile (amano il calore) ed eliotrope (amano il sole), tollerano l'ombra molto più di altre piante e sono in grado di adattarsi e sopravvivere in aree poco soleggiate. La Cannabis si adatta facilmente ad alte temperature se dispone di acqua e nutrimento sufficiente, mentre difficilmente sopravvive a temperature estremamente fredde; i germogli e le piantine giovani resistono maggiormente alle gelate rispetto alla pianta matura. Ad alte latitudini la cannabis viene tradizionalmente piantata in tarda primavera e raccolta alla fine dell'estate per evitare le corte giornate autunnali col sole basso e il rischio di gelate. Non necessita di molta acqua per sopravvivere se non in fase di germinazione e crescita semenzale. Fiorisce in presenza di suoli ben drenati e disponibilità d'acqua frequente; condizioni di aridità o di ristagno acquitrinoso risultano invece dannose e potenzialmente letali per la pianta. La Cannabis matura e si riproduce sotto un ampio spettro di condizioni igrometriche, soprattutto da condizioni subumide a moderatamente aride. La coltura della canapa predilige terreni profondi e privi di strati impermeabili, che facilitino lo sviluppo dell'apparato radicale ed escludano il rischio di ristagni idrici, potenzialmente fatali per la

sopravvivenza della pianta. Risultano quindi migliori i terreni sciolti, franco sabbiosi e torbosi mentre sono da evitare terreni argillosi, limosi e privi di sostanza organica che tendono a chiudersi quando si alternano periodi di pioggia a periodi ventosi e soleggiate.

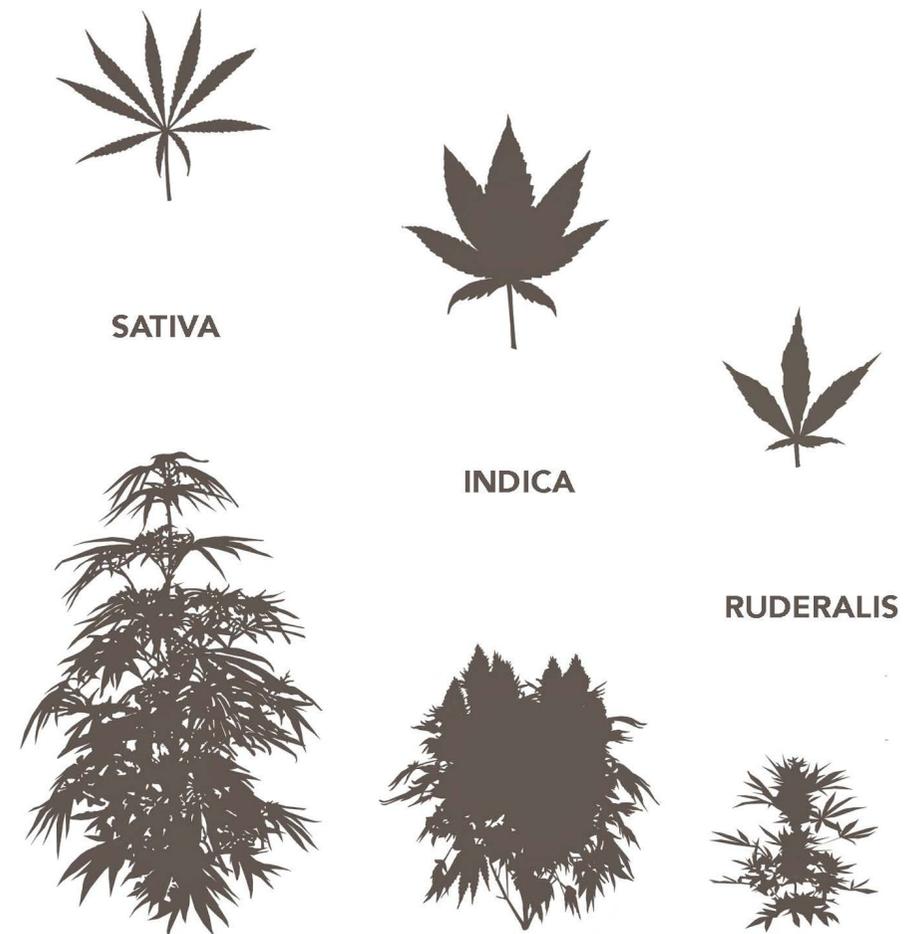


Fig 1.2 I tre tipi di Cannabis

1.2 ORIGINI, DIFFUSIONE ED USI TRADIZIONALI

Originaria dell'Asia centrale, questa pianta ha accompagnato l'evoluzione dell'uomo fin dalla preistoria, la sua versatilità sia in termini di utilizzo che di adattabilità a climi differenti unita alla grande produttività ne hanno garantito una rapida diffusione in tutto il mondo. Sembra infatti che sia stata una delle piante determinanti nel passaggio dell'uomo ad una vita stanziale grazie alla spinta che ha dato allo sviluppo dell'agricoltura. Esistono prove archeologiche del suo utilizzo da parte dell'uomo fin dalla preistoria in Asia ed Europa e da almeno qualche migliaio di anni anche nei restanti tre continenti.

I principali usi tradizionali per cui è stata raccolta e successivamente coltivata dall'uomo nel corso dei secoli sono molteplici e comprendono:

- Fibra: produzione di tessuti, cordami e reti, carta e imbottiture.
- Semi: utilizzo alimentare sia dei semi interi sia di derivati come olio e farine. L'olio è utilizzato nella produzione di svariati altri prodotti come cosmetici, inchiostri, detergenti e combustibili.
- Inflorescenze e foglie: utilizzo alimentare, medico, ricreativo (psicotropo) e spirituale.
- Canapulo: utilizzo come combustibile, in edilizia, per la produzione di mangimi e altri prodotti per l'agricoltura e l'allevamento.

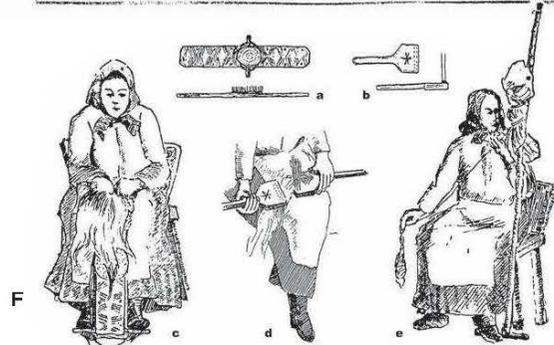
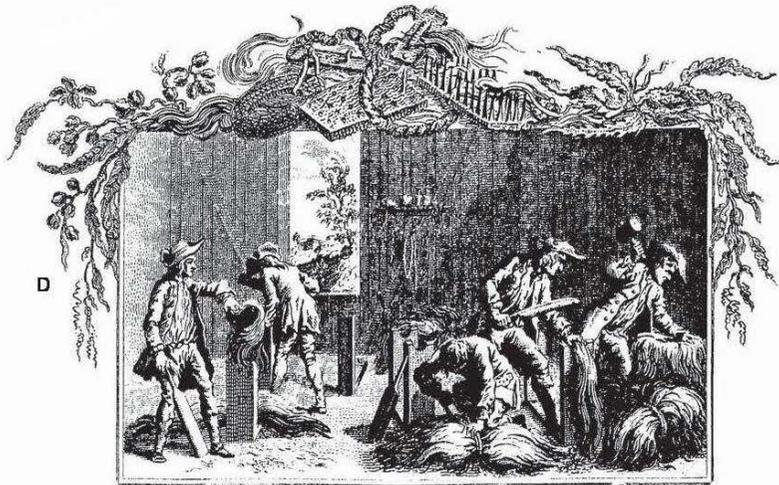
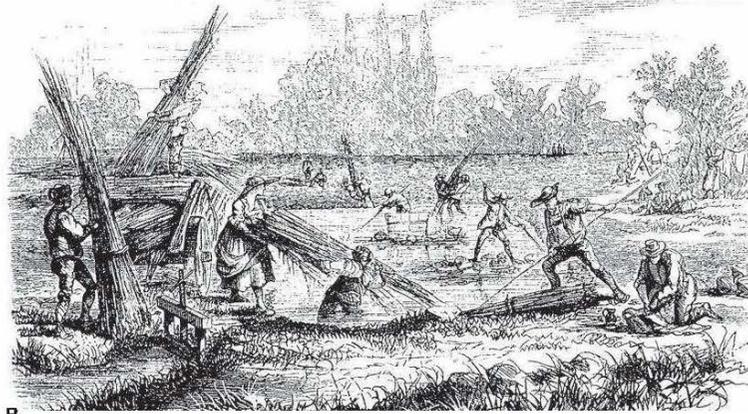


Fig 1.3 Macerazione, battitura e pettinatura della canapa (Cannabis evolution and ethnobotany-Carke e Cornel)

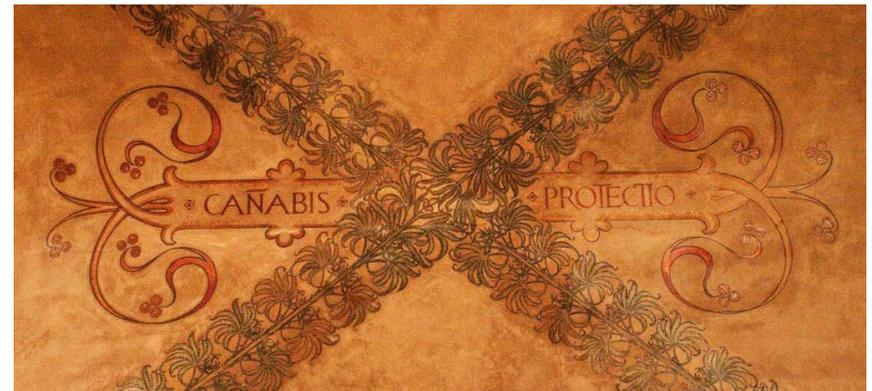
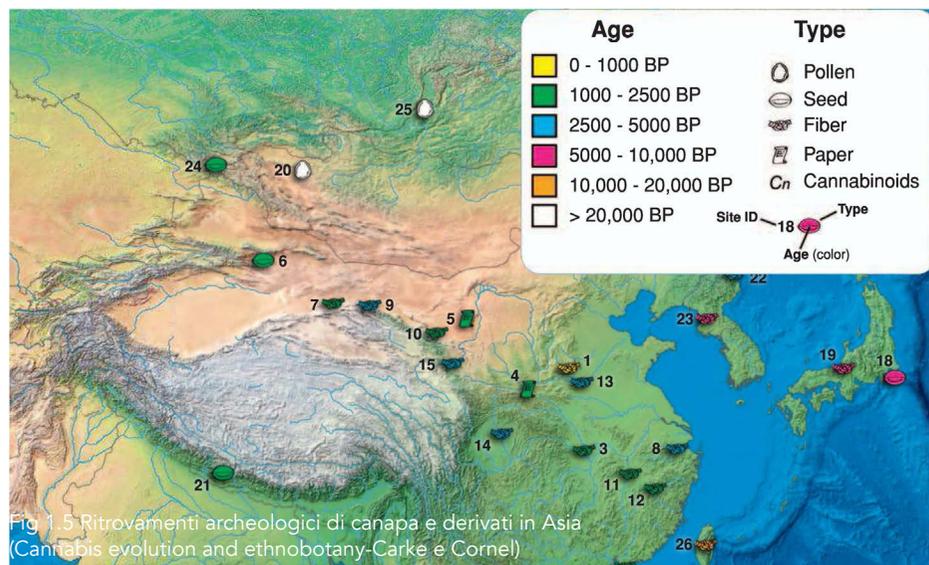


Fig 1.4 Volta portico su via Indipendenza, Bologna (freeweeder.it)

1.3 LA CANNABIS IN ASIA MERIDIONALE

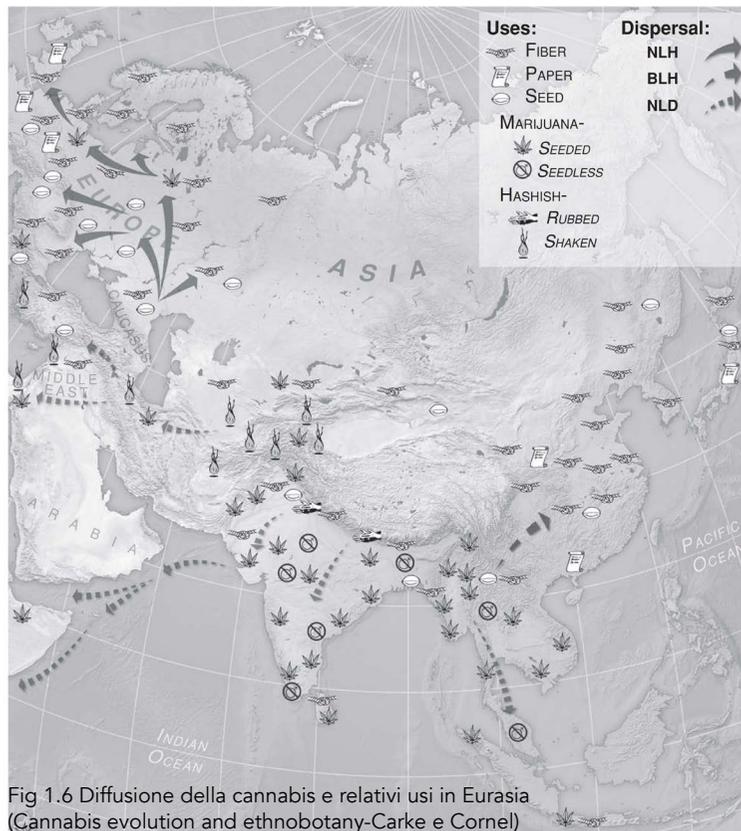
Allo stato attuale la cannabis cresce spontanea in diverse aree dell'Asia Meridionale tra cui il nord dell'India, il nord-ovest del Pakistan e lungo le pendici dell'Himalaya dal Kashmir fino al nord della Birmania passando per Nepal e Bhutan dove cresce senza problemi fino a 3000 metri di altitudine. Nonostante la cannabis sia selvatica che coltivata cresca spontaneamente in vaste aree dell'Asia meridionale, non è considerata una pianta originaria di queste zone. Una serie di evidenze suggeriscono che furono le tribù Indo-Ariane dell'Asia centrale a introdurre la cannabis in Asia Meridionale circa 4000 anni fa.



Da questo momento la cannabis, di cui pare fossero già note le proprietà psicoattive alle tribù indo-ariane (che la utilizzavano anche per produrre cordami), diventa parte integrante della cultura e della filosofia induista in particolare proprio per le sue proprietà psicotrope. Sembra infatti che l'uso per scopi spirituali di questa pianta sia nato nell'area dell'Himalaya grazie ai Sadhu, degli uomini ascetici e santi che, in contrasto con la teocrazia dei Bramini e la rigida organizzazione in caste delle comunità Indiane, si ritirarono

sulle montagne, dove produssero i cosiddetti testi della foresta (Aranyakas) da cui deriva tutta la letteratura Induista. L'importanza della Cannabis è testimoniata dalla moltitudine di parole usate per riferirsi alla Cannabis in sanscrito e indi e dall'importanza che riveste in diverse storie nella complessa mitologia induista. Se la spinta principale alla diffusione della pianta fu dato dal suo utilizzo per scopi religiosi, fin da subito la cannabis iniziò a diffondersi anche per la sua utilità in ambito alimentare, medico e tessile. In Nepal e nell'Himalaya nord-occidentale il ruolo dei semi di cannabis come complemento alimentare e l'utilizzo della fibra per i tessuti assunsero un'importanza fondamentale per la colonizzazione di aree particolarmente impervie e remote e hanno garantito la sopravvivenza di alcune popolazioni tribali fino ai giorni nostri; tali tribù fino a poche decadi fa per cucinare potevano fare affidamento unicamente sull'olio di semi di cannabis. Queste modalità di utilizzo tradizionali della pianta, ben integrate con la società e la cultura nepalese, sono state sconvolte dapprima negli anni '60 con l'invasione degli hippie e l'aumento esponenziale della richiesta e dei prezzi della cannabis, poi con il fiorire di attività criminali di spaccio e contrabbando verso l'India, con la quantità di cannabis esportata che presto superò quella consumata internamente; il governo Nepalese varò una serie di norme atte a regolamentare e tassare la coltivazione, la vendita e le esportazioni di cannabis, che avevano creato opportunità di guadagno precedentemente impensabili per i contadini ma allo stesso tempo stavano andando ad intaccare una serie di consuetudini e pratiche millenarie, in particolare influenzando i giovani ad un utilizzo ludico della pianta ad imitazione dei coetanei occidentali. In questo scenario viene approvata una legge che mette al bando tutti gli utilizzi non tradizionali della pianta di cannabis, e rende illegali le droghe nel paese; il provvedimento è dovuto a tre fattori: l'intolleranza crescente tra la borghesia Nepalese nei confronti dei costumi occidentali nei confronti delle droghe e l'influenza che questi avevano sui giovani locali; la pressione degli stati uniti nell'ambito delle operazioni per il controllo della crescita del narcotraffico

del narcotraffico internazionale; la pressione delle Nazioni Unite che in quel periodo con l'International Narcotics Control Board avevano un'opinione estremamente negativa della cannabis che veniva considerata un grave pericolo alla stregua dell'eroina. Queste politiche si sono rivelate col senno di poi molto dannose per l'economia e lo sviluppo del paese, ed è paradossale vedere come nei paesi occidentali, responsabili delle pressioni per rendere illegale la regolamentazione del mercato della cannabis, stiano oggi sperimentando sistemi legislativi per regolare questo settore sul proprio territorio. Il procedimento ebbe come conseguenza il passaggio della vendita e produzione di droga in mano alla criminalità e una generale difficoltà e ambiguità legale nell'aver accesso alla pianta e poterla utilizzare per i diversi scopi tradizionali da parte soprattutto delle fasce di popolazione più povere.



1.4 LA CANNABIS IN NEPAL

Il Nepal è ad oggi tra i paesi meno sviluppati al mondo, l'economia si basa prevalentemente sull'agricoltura che dà lavoro a due terzi della popolazione pur coprendo appena un terzo del pil del paese, e sul turismo; il modesto settore industriale riguarda prevalentemente la trasformazione dei prodotti agricoli e l'economia è largamente dipendente da rimesse estere. Il Nepal avrebbe grande potenziale in termini di sfruttamento delle ingenti risorse idriche e del turismo, potenziale che da anni, nonostante diversi tentativi di migliorare le cose, continua a rimanere inespresso a causa dell'instabilità politica dovuta alla corruzione, al passaggio da monarchia a repubblica avvenuto solo da pochi anni, alle ingerenze che il paese subisce dalle due superpotenze molto aggressive con cui confina, che sono l'India e la Cina. Tutto ciò unito alle diverse calamità naturali che periodicamente colpiscono il paese e ad una difficilissima configurazione geomorfologica. Oltre alla complessità del tessuto socio culturale e l'enorme numero di culture diverse che convivono in un paese così piccolo, che spesso risulta essere un pregio e una caratteristica unica e da valorizzare, ma che quando si tratta di processi decisionali e riforme può diventare un ostacolo.



A differenza di molti altri paesi in via di sviluppo, in Nepal, probabilmente per ragioni culturali e ambientali, l'attenzione verso tematiche come l'ecologia e la sostenibilità ambientale è particolarmente spiccata, quest'attenzione è visibile ad esempio nelle tipologie di turismo promosse, nel numero di riserve naturali presenti sul territorio ma anche nella scelta delle facoltà universitarie a cui si iscrivono i giovani e nella presenza di diverse nuove realtà imprenditoriali che prestano molta attenzione a queste tematiche. In questo contesto si sta avviando lentamente un processo di valorizzazione della canapa portato avanti da piccole realtà imprenditoriali e ONG, in un contesto legislativo molto ambiguo, con una legge che tollera gli usi tradizionali, permette l'utilizzo e la produzione di prodotti derivati dalle parti non psicoattive della pianta, ma tendenzialmente vieta la coltivazione della pianta nelle aree più accessibili del paese, relegandola in zone più remote e nascoste o di fatto restringendo l'utilizzo alle sole piante selvatiche.

Questo processo consiste nell'introdurre e adattare al contesto nepalese tecnologie riguardanti il settore della canapa che si sono sviluppate in Europa, Stati Uniti e Cina negli ultimi anni con la reintroduzione legale della canapa industriale, con la volontà di far evolvere un settore che sia a causa dell'arretratezza del paese, sia per le norme restrittive non ha mai avuto la possibilità di farlo.

I settori maggiormente coinvolti sono:

Settore tessile: si tratta del settore più ampio e consolidato, con diversi produttori e commercianti che trattano questi prodotti soprattutto per il mercato delle esportazioni. Il limite principale della produzione di tessuti è la scarsa qualità del filato e la conseguente ruvidezza che ne compromette l'utilizzo per la produzione di vestiti. Anche quando il filato viene usato per altri manufatti come borse, astucci o rivestimenti la qualità risulta in alcuni casi un limite e il prodotto viene acquistato più per la natura esotica del materiale che per la qualità dello stesso.

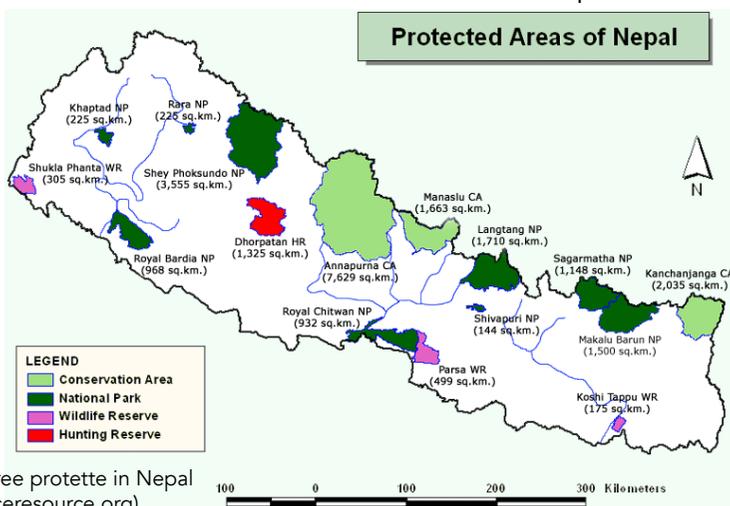


Fig 1.8 Aree protette in Nepal (bioscienceresource.org)



Fig 1.9 Lavorazione canapa da fibra (westword.com)

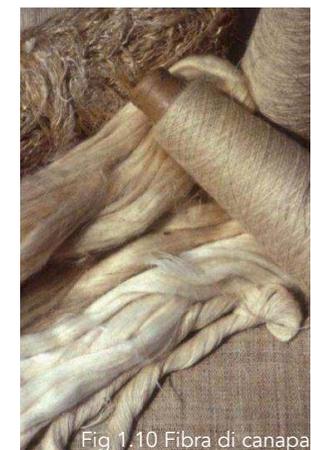


Fig 1.10 Fibra di canapa

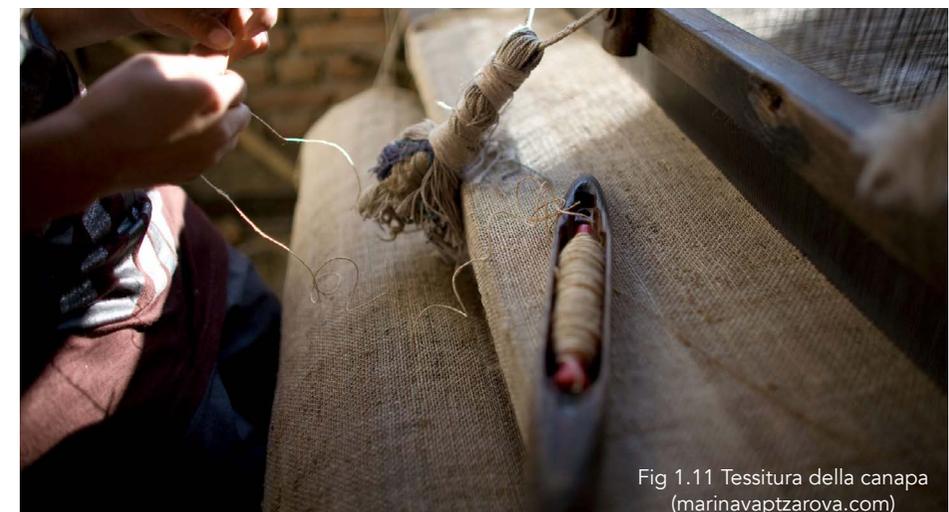


Fig 1.11 Tessitura della canapa (marinavaptzarova.com)

Settore alimentare: i semi e l'olio di canapa sono da millenni parte dell'alimentazione della popolazione nepalese. Nonostante la produzione di semi abbia risentito molto delle leggi proibizioniste sono stati sempre consumati regolarmente, specialmente in comunità che vivono di agricoltura di sussistenza. Negli ultimi anni con la riabilitazione della pianta di canapa a livello internazionale sono nati alcuni produttori che stanno diffondendo questi prodotti a livello commerciale, ed è cresciuto molto l'interesse per l'esportazione di questi prodotti anche se si tratta di un business con grandi potenzialità ma ancora in fase embrionale.

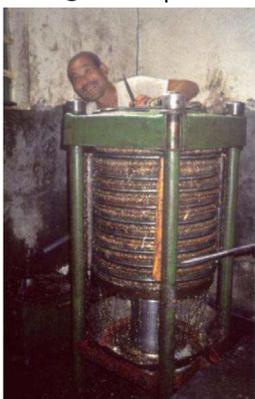


Fig 1.12 Spremitura dei semi (Cannabis evolution and ethnobotany-Carke e Cornel)



Fig 1.13 Bhang Chautney tipica preparazione a base di semi di canapa della cucina nepalese (calmycookingcurry.blogspot.it)



Fig 1.14 Semi di canapa al mercato (Cannabis evolution and ethnobotany-Carke e Cornel)



Fig 1.15 Semi, olio e farina di canapa (420magazine.com)

Settore cosmetico: come nel caso del settore alimentare è in forte crescita la domanda di prodotti cosmetici a base di canapa e iniziano ad esserci diversi produttori artigianali che propongono questo tipo di prodotti, anche qui le potenzialità di questi prodotti sono largamente inesplorate sia dal punto di vista dello sviluppo dei prodotti che del relativo mercato.

Settore medico: la canapa è utilizzata ancestralmente nell'ayurveda (medicina tradizionale indiana) per la cura sia degli uomini che degli animali; negli ultimi anni, in seguito all'apertura verso la cannabis ad uso terapeutico da parte della comunità internazionale medica, sono state avviate delle piccole sperimentazioni anche all'interno di alcuni ospedali privati (di medicina occidentale) nepalesi.



Fig 1.16 Olio di canapa uso cosmetico (SHIV)



Fig 1.17 Sapone alla canapa (taleofthefuture.com)

Settore edilizio: è forse il settore che sta avendo l'espansione più rapida, per diversi motivi: si tratta di un settore per il nepal completamente nuovo, ciò ha dato grande entusiasmo e spinta alla ricerca e sperimentazione, la comunità internazionale di costruttori in canapa è molto coesa e solidale e da circa due anni porta diversi tecnici in territorio nepalese con il fine di sviluppare tecniche costruttive che utilizzano il canapulo, l'interesse suscitato dall'attuale domanda enorme di materiale edile seguita al terremoto del 2015.

2 LA CANAPA IN EDILIZIA

Il binomio canapa e costruzioni è certamente molto antico, essendo stata per millenni la fibra di canapa il materiale principe per la produzione di cordami e reti; una delle più antiche testimonianze di quest'utilizzo risale a circa 1000 anni bc quando il re Salomone fece un ordine di corde di canapa per la costruzione del proprio palazzo e trono. Esistono inoltre alcune scoperte archeologiche che ne testimoniano l'utilizzo in mescole a base di terra cruda e/o di calce: il ritrovamento più antico è stato fatto presso una delle caverne di Ellora, il tempio più grande del mondo scavato nella roccia sito nel Maharastra in India.



Fig 2.1 Ellora Caves (Cannabis sativa in ancient clay plaster of Ellora Caves India-Singh-Sardesai)

In una delle grotte più antiche facente parte dell'originario tempio buddhista, nell'intonaco di rivestimento della grotta è stata individuata la presenza di canapa, in forma di inflorescenze, foglie e stelo, quantificata in circa il 10% della mescola composta da argilla e calce; dagli studi portati avanti da *Rajdeo Singh*, archeologo dell'*Archaeological Survey of India* e da *M Sardesai*, del dipartimento di Botanica alla *Dr. Babasaheb Ambedkar Marathwada University* risulta che, proprio grazie alla presenza della canapa nell'impasto e alle sue proprietà ignifughe, fungicide e di tener lontani gli insetti, si siano salvate le pitture murarie presenti nella grotta, evidenza confermata dal fatto che nelle grotte adiacenti dove non è presente canapa negli intonaci le pitture non si sono salvate.

In Francia gli archeologi hanno rinvenuto un conglomerato di



Fig 2.0 Getto in canapulo e calce (HempEcoSystem)

calce e canapa in un ponte merovingio, risalente più o meno allo stesso periodo dell'intonaco delle grotte di Ellora.

Proprio in Francia ha avuto luogo all'inizio degli anni '80 la rinascita



Fig 2.2 Ellora Caves plaster and plaster sample (Cannabis in Ellora caves India-Singh-Sardesai)

e reinvenzione di questo materiale: grazie a Charles Rossetti, un muratore italo-francese che dedicò la sua vita a migliorare le mancanze dell'edilizia tradizionale ed ebbe l'intuizione di usare il canapulo come materiale da costruzione, si cominciò a sperimentare l'uso di questo materiale. La vicinanza all'azienda *La Chanvrière de l'Aube*, al tempo leader nella trasformazione di canapa industriale e produzione di canapulo destinato al settore zootecnico, come lettiera per animali, che utilizzava un processo meccanico di strigliatura invece che la tradizionale macerazione per separare la fibra dal canapulo, permise a Rossetti di ottenere la materia prima ottimale per sviluppare il materiale che aveva in mente a base di calce e canapulo. Nell'arco di qualche anno la collaborazione tra Rossetti e LCDA produsse due brevetti, e il nuovo materiale iniziò a trovare le prime applicazioni nel campo del restauro e in particolare nelle case a traliccio medievali, che nel secondo dopoguerra erano state malamente restaurate con malte cementizie e necessitavano di un materiale particolarmente traspirante per essere recuperate. Negli anni '90 il materiale si diffonde in Francia con la nascita di diverse aziende e associazioni che ne promuovono l'utilizzo e una crescente ricerca scientifica portata avanti anche all'interno di enti statali. Queste esperienze porteranno nel 1998 alla costituzione dell'associazione *Costruir*

en Chanvre che si occupa di stabilire e aggiornare un pacchetto di regole professionali atte ad uniformare la progettazione con tecniche costruttive che utilizzano il biocomposito in calce e canapa (<http://www.construire-en-chanvre.fr>). Dal 1997, con le nuove norme e finanziamenti dell'Unione Europea riguardanti la canapa industriale, si iniziano a sperimentare le costruzioni in canapa in diversi paesi europei; le esperienze più significative avvengono in Belgio, Irlanda, Italia, Gran Bretagna, Spagna, Svizzera e successivamente anche in diversi paesi dell'est e del nord Europa (*MINISTERO DELLE POLITICHE AGRICOLE E FORESTALI: CIRCOLARE 2 dicembre 1997, n. 734*). All'incirca nello stesso periodo si inizia a costruire in calce e canapa anche negli Stati Uniti. Questo processo di ricerca e sperimentazione ha portato ad oggi a confermare la validità di materiali a base di canapa e calce come materiale da costruzione, a stabilirne i limiti e verificarne le proprietà, pur non arrivando a stabilire uno standard univoco né per quanto riguarda le ricette né per le tecniche di messa in opera. Nel panorama internazionale odierno esistono difatti diverse scuole di pensiero e pratiche differenti che spaziano da una dimensione totalmente artigianale fino ad una produzione industriale del materiale che comprende anche la possibilità di prefabbricazione degli elementi costruttivi.



Fig 2.3 Cottage inglese con tamponamento in canapa e calce (The Hempcrete book-Sparrow-Stanwix)



Fig 2.4 Ristrutturazione cascina cappotto in canapa e calce (Cascina Rossa, Lecco -arch. Sabbadini)



Fig 2.5 Condominio con isolamento in canapa e calce (Casa di Luce, Bisceglie-Pedone working)

2.1 MATERIALI BIO-COMPOSITI A BASE DI CANAPULO E CALCE

I materiali biocompositi a base di canapulo e calce sono dei materiali bioedili dotati di spiccate caratteristiche di regolazione termica ed igrometrica e particolarmente sostenibili dal punto di vista dell'impatto ambientale in tutte le fasi del proprio ciclo di vita. Il conglomerato è costituito da un legante, la calce, acqua e da un inerte, il canapulo, che diventa tale subendo un processo di mineralizzazione in seguito a una reazione chimica di carbonizzazione dovuta al suo alto contenuto di silice che reagisce con la calce; oltre a dare rigidità al materiale questo processo ovvia al problema di possibili muffe legate all'utilizzo di una materia organica come è il canapulo.

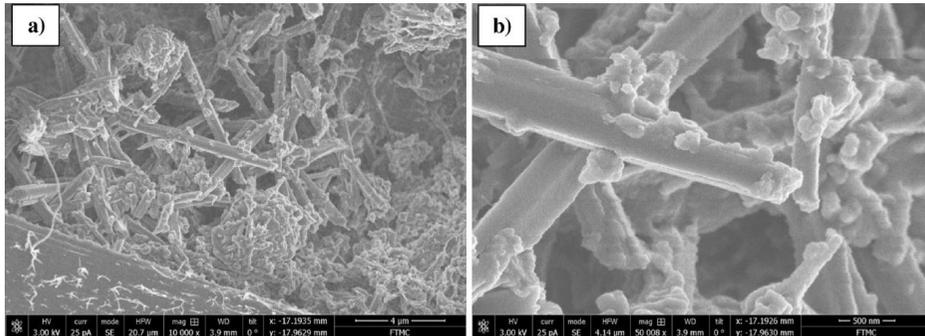


Fig 2.6 Ingrandimento al microscopio delle fibre di canapulo in fase di mineralizzazione (Industrial crops and products, Elsevier)

Appena miscelato l'impasto risulta umido e informe, la consistenza varia in base alla ricetta che definisce le proporzioni e la tipologia dei diversi componenti (tipo di calce, granulometria del canapulo) in base all'utilizzo per cui è stata preparata (intonaci, riempimenti, tamponamenti); una volta messo in opera l'acqua inizia ad evaporare e il materiale indurisce grazie ai processi di carbonatazione e idratazione della calce dando vita a un materiale rigido e leggero allo stesso tempo, durevole e con buona proprietà di isolamento termico e regolazione dell'umidità garantita dai microscopici alveoli pieni d'aria del canapulo dove avvengono continui processi di micro-condensazione e micro-evaporazione.

Il mix di canapulo e calce può essere usato in diversi elementi costruttivi, in base alla funzione e alle conseguenti diverse esigenze la miscela varia. Possiamo individuare 4 macrocategorie a densità crescente (presenza di una percentuale maggiore di calce):

- miscela leggera per isolamento solai, copertura e riempimento intercapedini
- miscela per muri di tamponamento
- miscela per massetto pavimentazione
- miscela per intonaci

2.1.1 LA CANAPA

Il canapulo, ovvero la parte legnosa dello stelo di canapa, è uno dei prodotti della filiera di produzione e trasformazione della canapa industriale, insieme al seme, alle inflorescenze in alcuni casi, e alla fibra. Si tratta infatti del residuo legnoso che si ottiene in seguito alla stigliatura, un'operazione meccanica finalizzata a separare la parte fibrosa dello stelo dal canapulo.

Il canapulo, una volta separato dalla fibra, viene sminuzzato in pezzature che vanno dai 5-30mm x 2-5mm e pulito dalle polveri per poi essere confezionato e immesso nel mercato.

La ricerca riguardo le tecniche di coltivazione e raccolta della canapa industriale si è sviluppata negli ultimi anni, la sola recente riscoperta di questa coltura e l'oblio a cui è stata relegata per decenni hanno fatto sì che mancassero macchinari specifici adeguati alle esigenze dell'agricoltura contemporanea. Inizialmente sono stati usati i macchinari dedicati al lino che richiede delle lavorazioni pressoché identiche a quelle della canapa. La canapa ha delle caratteristiche diverse dal lino in particolare per quanto riguarda le dimensioni e la resistenza degli steli, è stato quindi necessario ricorrere a delle lavorazioni straordinarie come il taglio degli steli per ridurre la dimensione o il blocco della crescita delle piante per gli stessi motivi, che per forza di cose ne ha influenzato negativamente la produttività e l'efficienza e rallentando quindi il processo di formazione di una filiera adatta alle esigenze del

mercato di un paese sviluppato.

Grazie al lavoro di diverse aziende, associazioni ed enti che si sono occupate di sviluppare e investire in questo campo ad oggi sono disponibili diversi macchinari specifici per la canapa sia per la coltivazione che per la prima trasformazione del raccolto e si è arrivati a stabilire un procedimento abbastanza standardizzato per quanto riguarda la filiera della canapa industriale ad uso di fibra tecnica e canapulo (che si differenzia da quella per fibra tecnica che necessita di una fase di macerazione in acqua).



Fig 2.7 Differenti pezzature di canapulo (Building with hemp-Allin)

2.1.2 PRODUZIONE

Nel caso di coltura finalizzata alla produzione di fibra tecnica e canapulo la pianta va tagliata appena termina la fioritura delle piante maschili che coincide con il massimo sviluppo in altezza. Viene tagliata con barra falciante e lasciata in andane a macerare ed essiccare in campo. Durante la fase di essiccazione le andane vengono sottoposte a ranghinatura e spandimento, un'operazione che consiste nella movimentazione periodica delle andane atte ad accelerare l'essiccazione ed evitare marcescenza o muffe. Ad avvenuta essiccazione (max 12-15% di umidità) si procede all'imbottitura delle paglie con una normale pressa. Le balle poi vanno impilate e protette dalle intemperie in modo adeguato fino al momento del trasporto al sito di trasformazione o alla lavorazione in loco.



Fig 2.8 Le altezze di taglio della pianta (Assocanapa)



Fig 2.9 Barra falciante (Assocanapa)



Fig 2.10 Sfalcio (Assocanapa)



Fig 2.11 Sfalcio (Assocanapa)



Fig 2.12 Andane (Assocanapa)



Fig 2.13 Sfalcio (Assocanapa)

2.1.3 TRASFORMAZIONE

La prima trasformazione consiste nella separazione della fibra dal canapulo e pulizia delle stesse dalle polveri; quest'operazione avviene tramite l'utilizzo di specifici macchinari, ad oggi ne esistono di diverse dimensioni, da quelli industriali, molto costosi ed impegnativi per lo spazio che richiedono che possono arrivare a processare fino a 4.000 tonnellate all'anno, a quelli più artigianali, installabili direttamente nelle aziende agricole e in alcuni casi autocostruibili grazie a progetti open source; questo tipo di macchinari arrivano a processare circa 1.000 tonnellate all'anno. Esistono poi delle macchine portatili, di produzione cinese (*Newest Machinery*), che effettuano unicamente l'operazione di decorticazione della fibra dal canapulo. Il funzionamento di questi macchinari è pressoché simile indipendentemente dalla dimensione: le paglie vengono passate attraverso una serie di rulli detti battitori e controbattitori, che procedono a spezzare e sfibrare lo stelo in più passaggi fino all'avvenuta separazione. Il materiale viene successivamente fatto passare attraverso un vaglio rotativo, una sorta di setaccio cilindrico dove avviene la divisione effettiva del materiale, la fibra rimane all'interno del cilindro mentre il canapulo ne fuoriesce insieme alle polveri. Il canapulo viene quindi raffinato dalle polveri, cippato e selezionato in diverse pezzature per poi essere imballato in confezioni resistenti all'acqua pronto per essere venduto.



Fig 2.14 Decorticatore open source (Initiative Chanvre)



Fig 2.15 Modulo alimentazione impianto Assocanapa (Overgrow-italy.nl)



Fig 2.16 Modulo trasformazione impianto Assocanapa (Overgrow-italy.nl)



Fig 2.17 Modulo pulizia impianto Assocanapa (Overgrow-italy.nl)

2.1.4 LA CALCE

La calce è un materiale da costruzione ottenuto per processi di calcinazione di pietre naturali contenenti carbonato di calcio; la calce aerea, quella ottenuta da calcari più puri e ad alto contenuto di carbonati di calcio, è un materiale usato in edilizia da tempi antichissimi, il ritrovamento archeologico più antico risale a circa 7000 anni fa e si tratta di una pavimentazione rinvenuta a Yftah in Israele ed esistono evidenze del suo utilizzo da parte dei Fenici, degli Egizi, dei Greci e dei Romani, che ne favorirono la diffusione grazie alla pubblicazione del De Architectura di Vitruvio, che permette di comprendere l'elevato livello di specializzazione e conoscenza tecnologica a cui erano arrivati i Romani.

Le malte a base di calce aerea sono costituite da una miscela di acqua, calce e aggregati (non pozzolanici) che induriscono in presenza di anidride carbonica (carbonatazione della calce). Queste malte hanno caratteristiche di plasticità e lavorabilità, elevata flessibilità meccanica sotto stress e un'elevata traspirabilità che consente all'umidità interna di evaporare facilmente contribuendo alla regolazione igrometrica degli ambienti e che unita alle sue proprietà antisettiche contribuisce fortemente ad aumentare il comfort degli ambienti interni, oltre a proteggere e mantenere salubri e asciutti gli elementi su cui è posata, caratteristica che la rende particolarmente efficace in interventi di restauro.

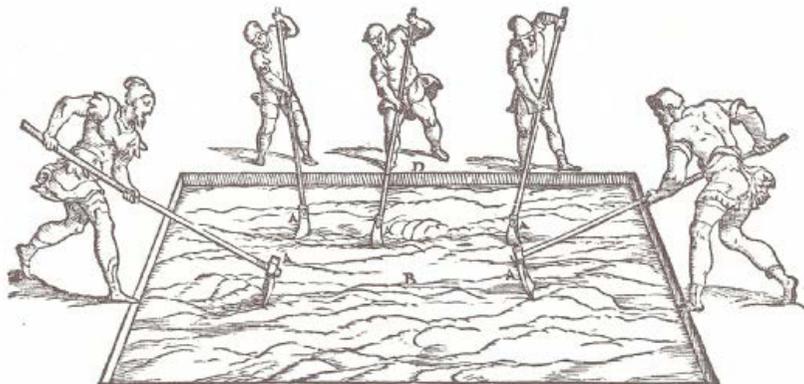


Fig 2.18 Spegnimento della calce De Architectura, Vitruvio (unisve.it)



Fig 2.19 Cava di calcare (wikimedia.org)

Già al tempo dei Romani fu scoperto che aggiungendo un componente di materiale pozzolanico alla calce aerea si otteneva un materiale idraulico con caratteristiche di resistenza meccaniche superiori, una minor permeabilità all'acqua e una conseguente durabilità maggiore in ambienti esterni.

L'utilizzo estensivo della calce fu abbandonato in favore del cemento portland nel corso del '900 per questioni di resistenza meccanica e velocità di messa in opera, ma sta ritornando in auge negli ultimi tempi grazie a caratteristiche la cui importanza è stata rivalutata solo di recente. Tra queste vi sono: la minor richiesta di energia in produzione, la compatibilità con il patrimonio storico e una maggior attenzione verso l'utilizzo di materiali in grado di migliorare il comfort abitativo.



Fig 2.20 Calchera a legna
(Conosci il grassello di calce-Rattazzi)

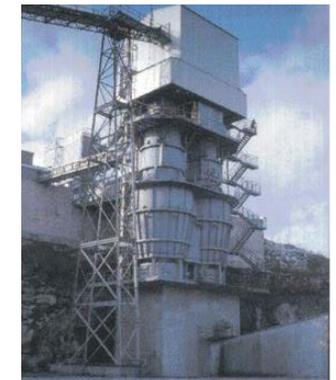


Fig 2.21 Fornace

2.1.5 PRODUZIONE

Il processo di produzione della calce aerea inizia con la selezione dei calcari più adatti che devono avere un alto contenuto di carbonati, una struttura microcristallina e una presenza di impurità, in particolare argillose, minore del 5%.

La seconda fase consiste nella cottura che avviene in appositi forni a una temperatura di circa 900°, l'alta temperatura innesca la decomposizione dei carbonati di calcio in ossido di calcio (calce viva) e anidride carbonica ($\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$).

Si mette quindi la calce viva a contatto con l'acqua, provocando una reazione che rilascia molto calore e trasforma il materiale in idrossido di calcio (calce spenta), ($\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca(OH)}_2$).

Si ottiene quindi un prodotto in polvere o in pasta che una volta messo in opera conclude il ciclo della calce:

in presenza di anidride carbonica e acque libere la calce spenta indurisce e si trasforma in calcite $\text{Ca(OH)}_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$.

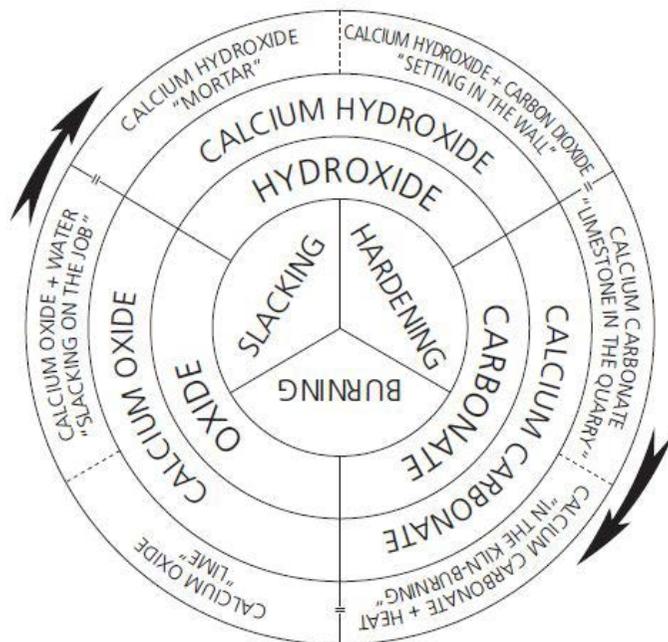


Fig 2.21 Ciclo della calce secondo E.W. Lazell (Conosci il grassello di calce-Rattazzi)

2.1.6 PERCHÉ È IMPORTANTE USARE CALCE IDRATA

Il motivo per cui è preferibile usare calce idrata per la miscela di canapa e calce è dato dalle caratteristiche di traspirabilità di cui è dotata: in fase di cottura la fuoriuscita di anidride carbonica provoca la formazione di alcune particelle, di dimensioni maggiori delle altre, dotate di una struttura molto porosa. Queste particelle sono sospese all'interno di una soluzione di elementi più piccoli (colloide). Nella fase di carbonatazione si creano dei legami tra le particelle a formare una massa, durante questo processo alcune delle particelle porose rimangono libere dal legame col carbonio e sono quindi in grado di muoversi all'interno del materiale. Grazie a questo movimento e la struttura a pori aperti che ne consegue, si avrà un materiale in grado di trattenere e rilasciare una grande quantità d'acqua. Le particelle libere inoltre, muovendosi all'interno del composto di canapa e calce passano attraverso le particelle di canapa, andando a rivestire lo strato interno di cellulosa delle particelle di canapulo, innescando il processo di mineralizzazione del canapulo, che avviene quando il processo di sostituzione (calce-cellulosa) sarà completato.

2.1.7 IMPATTO AMBIENTALE

Tutti i leganti impiegati in edilizia ad eccezione dell'argilla, hanno, soprattutto in fase di produzione, un impatto ambientale piuttosto elevato, dovuto sia all'estrazione della materia prima e del suo trasporto, sia agli impianti di produzione industriali che utilizzano combustibili fossili per la produzione dell'energia termica ed elettrica necessaria. La calce ha un'energia incorporata abbastanza alta, paragonabile a quella del cemento, mentre dal punto di vista delle emissioni di CO_2 risulta meno inquinante in particolare grazie alla sua capacità di riassorbire CO_2 una volta messa in opera.

La CO_2 liberata dalla produzione della calce deriva principalmente dall'utilizzo di combustibili fossili necessaria a produrre energia

termica per scaldare i forni e dal processo detto calcinazione del calcare che libera l'anidride carbonica.

Le calci aeree quando messe in opera sono in grado nel corso degli anni necessari al completo processo di carbonatazione, di riassorbire circa il 60% della CO₂ emessa durante la fase di produzione, le calci idrauliche intorno al 55% mentre il cemento non ha questa capacità.

85 - Valori orientativi dei consumi energetici delle emissioni di anidride carbonica per la produzione di alcuni leganti aerei e idraulici								
	CONSUMI ENERGIA (Mcal/t) (Mcal/t)		EMISSIONI DI CO ₂ (kg/t) DA:				CO ₂ RIASSORBITA DAL LEGANTE IN OPERA (kg/t)	EMISSIONE PERMANENTE DI CO ₂ (kg/t)
	TERMICA (COTTURA)	ELETRICA	ENERGIA TERMICA	EN. ELETRICA*	DECARBONAZIONE	TOT.		
Grassello **	832	55	325	22	595	942	588	354
Calce aerea calcica CL90 ***	832	110	325	43	569	947	530	417
Calce aerea dolomitica DL85 ***	720	132	281	52	600	933	500	433
Gesso	352	66	137	26	0	163	0	163
Calci idrauliche NHL, HL ***	560	205	218	80	470	768	200	568
Cemento CEM I ****	720	480	281	187	465	933	≈5	928
Cemento CEM II-A	640	440	250	172	410	832	≈5	827
Cemento CEM II-B	560	440	218	172	360	750	≈5	745
Cemento CEM III-A	400	480	156	187	260	603	≈4	599
Cemento CEM III-B	255	500	100	195	164	489	≈3	486
Cemento CEM IV-A	560	440	218	172	360	750	≈4	746
Cemento CEM IV-B	400	400	156	156	260	572	≈3	569

NB: I valori riportati sono relativi a impianti relativamente moderni; per impianti meno moderni i valori possono essere superiori del 10-15%.
 *Le emissioni di anidride carbonica generate dal consumo di energia elettrica, derivano dal fatto che l'energia è prodotta con combustibili fossili: 1Kwh_{elettr.} ≈ 1,74Kwh_{term.}
 **Per il grassello tutti i valori sono riferiti a 1 ton di grassello essiccato.
 ***Le calci aeree e idrauliche sono quelle specificate dalla norma comunitaria UNI EN 459-1.
 ****I cementi riportati sono quelli specificati dalla norma comunitaria UNI EN 197-1.

Fig 2.22 (Conosci il grassello di calce-Rattazzi)

2.1.8 LE MISCELE

Esistono molteplici miscele a base di canapulo e calce, che si differenziano l'una dall'altra per diverse ragioni, in primis, come visto in precedenza, per le differenti proporzioni tra calce, canapulo e acqua e per le dimensioni del canapulo, che variano in base alla destinazione d'uso del materiale e ne determinano le prestazioni termo-acustiche meccaniche oltre che le differenti possibilità di messa in opera. Altro elemento determinante nella preparazione delle miscele è il tipo di legante utilizzato, calce idrata e calce idraulica sono i più comunemente utilizzati; essi hanno però caratteristiche diverse: la calce idrata, risulta di qualità superiore, se stagionata correttamente riesce a esprimere qualità igrometriche globalmente superiori agli altri leganti, in particolare se si utilizza il grassello; il principale svantaggio sono i lunghi tempi di asciugatura necessari perchè il materiale stagioni alla perfezione, questa caratteristica risulta spesso incompatibile con le tempistiche dei cantieri contemporanei oltre a richiedere particolari accorgimenti per garantire l'apporto d'aria necessario all'essiccazione; da recenti ricerche sembra inoltre che in elementi costruttivi di spessore consistente (getti o blocchi per muri di tamponamento) la carbonatazione avvenga in tempi compatibili con il ciclo di vita dello stesso solo negli strati superficiali (*ENEA-Convegno La CANAPA in EDILIZIA: un prodotto antico per un futuro migliore*). La calce idraulica fa presa e indurisce reagendo con l'acqua dell'impasto rendendo l'essiccazione molto più rapida, inoltre in genere garantisce un prestazione migliore in termini di resistenza meccanica del materiale. Lo svantaggio principale delle calci idrauliche è dovuto al fatto che lavorando in sinergia con il canapulo e con la sua grande capacità di assorbimento dell'acqua, rischia di andare in deficit di idratazione proprio a causa della sottrazione d'acqua dal sistema ad opera del canapulo, con l'indurimento che viene compromesso e si completa in modo ottimale solo nelle zone superficiali del composto, mentre all'interno si avrà un materiale non coeso e formazione di polveri.

La tendenza che si sta sempre più consolidando al giorno d'oggi sia tra i produttori di leganti, sia tra gli artigiani che si producono le miscele autonomamente in cantiere, è l'utilizzo di calce in parte aeree e in parte idrauliche. In genere aggiungendo additivi naturali, quali pozzolana o altri minerali a una calce di partenza aerea, questa viene parzialmente idraulicizzata per aumentarne la velocità di presa, la rapidità di asciugatura e le proprietà meccaniche. Nello stabilire e misurare le esatte proporzioni della miscela di canapulo e calce è importante sottolineare che i diversi componenti vanno misurati per volumi e non pesati come spesso accade per ragioni commerciali; l'elevato potere di assorbimento dell'acqua del canapulo determina delle variazioni di peso del materiale dovute alle condizioni di umidità ambientali, non trascurabili, è quindi necessario lavorare per volumi.

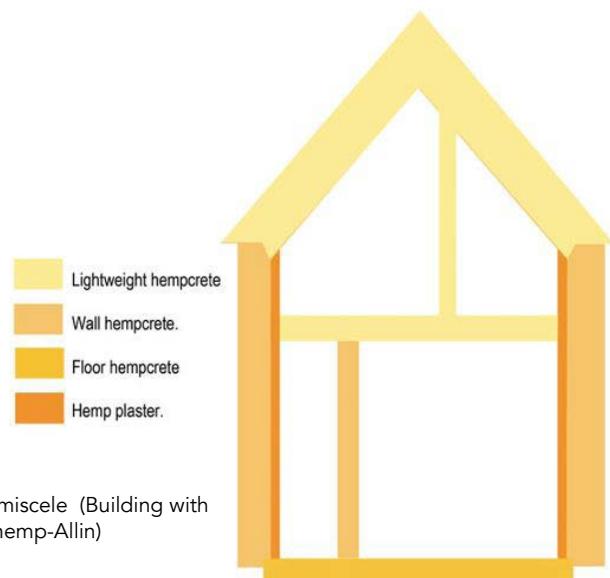


Fig 2.23 Le miscele (Building with hemp-Allin)

La scelta delle proporzioni per i diversi elementi costruttivi viene fatta in base alle caratteristiche da prediligere in base all'utilizzo: per gli elementi che non necessitano di una particolare coesione e resistenza meccanica (riempimenti intercapedini, isolamento solai e coperture) la quantità di calce è ridotta rispetto al canapulo per privilegiare le proprietà di isolamento termico; più gli elementi

necessitano di coesione del materiale e resistenza meccanica più aumenta la quantità di legante, aspetto che va ad aumentare l'inerzia termica del materiale ma ne penalizza in parte la capacità di isolamento termo-acustico.

Miscela leggera: viene utilizzata quando si vuole privilegiare l'isolamento termo-acustico, a scapito della resistenza strutturale e quindi in ambiti in cui il materiale viene messo in opera come riempimento di elementi con una loro struttura finita. La percentuale di calce si attesta attorno al 10% del volume del materiale finito, quantità sufficiente per rivestire le particelle di canapulo e creare una minima coesione tra le stesse, in modo che il materiale formi una massa unica seppur debole. La miscela leggera viene utilizzata come materiale isolante e traspirante, e detiene dei vantaggi rispetto a materiali con caratteristiche simili ma a base di fibre naturali, in quanto non perde di consistenza nel tempo e non è soggetto a compressione, inoltre la presenza della calce lo sanifica prevenendo possibili degni biologici del materiale. Essendo inoltre un materiale amorfo in fase di messa in opera è particolarmente efficace in quanto si riesce a distribuirlo uniformemente tra gli elementi strutturali, andando a riempire tutti i vuoti ed evitando in questo modo la formazione di ponti termici, e contribuendo ad aumentare la resistenza al fuoco dell'elemento edilizio. Tale miscela viene utilizzata come isolamento per le coperture, tramezzature interne come riempimento tra pannelli rigidi, nelle intercapedini dei muri perimetrali e come isolamento dei solai interni.

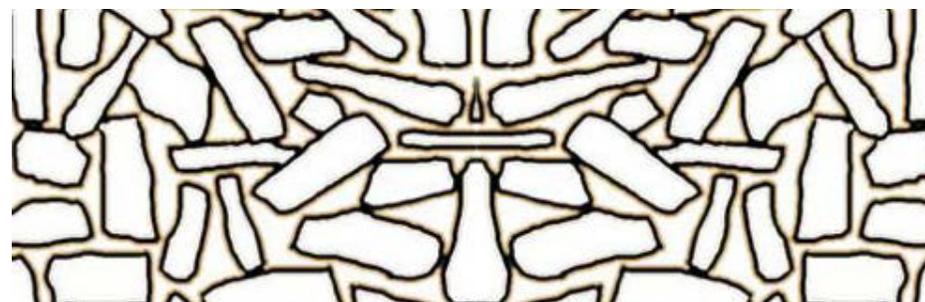


Fig 2.24 Microstruttura miscela leggera (Building with hemp-Allin)

Miscela per muri di tamponamento: per essere in grado di resistere a forze d'urto, ai carichi da vento e in genere per ottenere la rigidità strutturale richiesta da un muro di tamponamento, la quantità di legante aggiunta al composto raggiunge il 25% del volume del materiale in modo tale da garantire una maggior coesione tra le particelle ed ottenere una maggior rigidità, mantenendo comunque il più possibile le qualità isolanti del materiale. Questo tipo di miscela è sufficientemente solida per aggiungere rigidità ad un telaio in legno, ma è classificata come non-strutturale, non è quindi in grado di portare carichi o di fungere da controvento. Nonostante ciò è sufficientemente rigido per contribuire alla resistenza a carichi da vento e a deformazioni da compressione di telai lignei. In questo tipo di miscela una presenza intorno al 10% di fibre di canapa può contribuire alla resistenza strutturale del materiale.

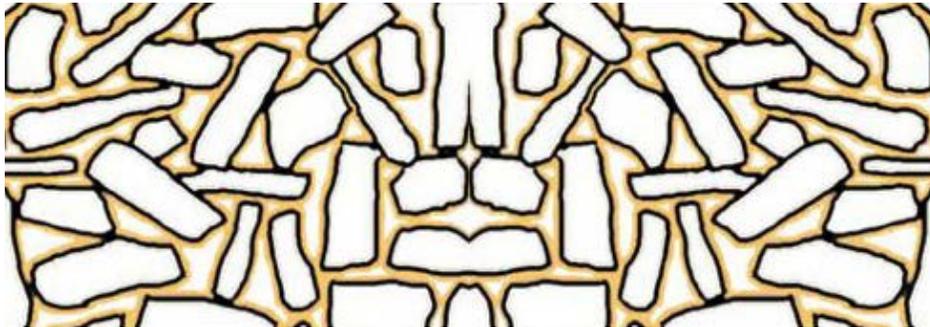


Fig 2.25 Microstruttura miscela per muri di tamponamento (Building with hemp-Allin)

Miscela per massetti: i massetti calpestabili necessitano di una maggiore consistenza sia per sostenere il peso degli elementi di rivestimento del pavimento e delle persone, sia, nel caso della presenza di impianti di riscaldamento a pavimento, per aumentare la massa termica e migliorarne l'efficacia. In questo caso il legante sale a circa il 35% del volume del materiale finito.

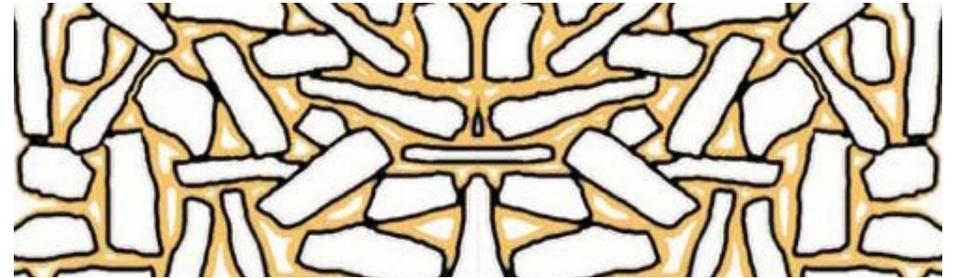


Fig 2.26 Microstruttura miscela per massetti (Building with hemp-Allin)

Miscela per intonaci: la miscela necessaria per produrre un intonaco necessita di peculiari caratteristiche di lavorabilità del materiale, solidità e uniformità dello stesso. Sarà quindi necessario avere almeno il 45-50% del volume di calce, utilizzare un canapulo più sottile ed in alcuni casi aggiungere sabbia per migliorare la resistenza all'usura dell'intonaco o facilitarne la messa in opera. L'utilizzo di maggior quantità di legante unito a particelle all'uso di un inerte più fine, permette di colmare tutti i vuoti tra una particella e l'altra, ottenendo un materiale solido e compatto che nonostante ciò manterrà le caratteristiche di traspirabilità e isolamento termico, seppur inferiore alle miscele precedenti, grazie alla porosità del canapulo.

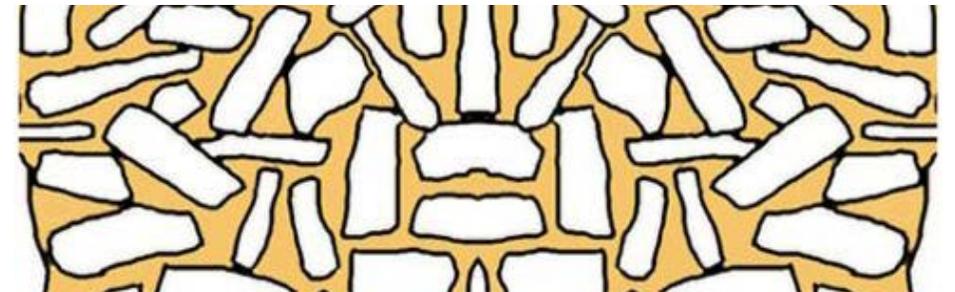


Fig 2.27 Microstruttura miscela per intonaci (Building with hemp-Allin)



Fig 2.28 Getto in canapulo e calce (The Hempcrete Book-Sparrow,Stanwix)

2.2 MESSA IN OPERA

Esistono molte variabili che contribuiscono a determinare la corretta messa in opera del materiale, che essendo estremamente versatile può essere utilizzato a diverse scale di edifici, e applicato in diverse modalità, in base alle condizioni e alle diverse peculiarità e priorità di ogni cantiere e tipologia costruzione.

Le modalità di messa in opera della miscela di canapa e calce sono:

Manuale

A spruzzo

Blocchi prefabbricati

Vi sono diverse caratteristiche del progetto che influenzano , e vengono a loro volta influenzate dalla tecnica costruttiva scelta per mettere in opera il materiale, che possiamo racchiudere in quattro categorie principali:

Dimensioni e tipologia edilizia del fabbricato

Sistema strutturale a cui è associato il materiale

Caratteristiche dell'impresa (disponibilità di macchinari e competenza specifica degli operai)

Esigenze specifiche di cantiere (temporali e logistiche)

Progettazione degli elementi e relative tecniche costruttive

In questa sede verrà analizzata in particolare la tecnica ad applicazione manuale che risulta ad oggi l'unica percorribile in un contesto come quello Nepalese in cui c'è una limitata disponibilità economica e di attrezzature tecniche mentre abbonda la disponibilità di manodopera.

2.2.1 APPLICAZIONE MANUALE

Dimensioni e tipologia edilizia: il getto manuale è da prediligere per costruzioni di piccole dimensioni (case uni/bi familiari, fino a tre piani fuori terra), è particolarmente adatto per progetti realizzati in autocostruzione ed è utilizzabile anche in porgetti di dimensioni maggiori se realizzati in aree dove la manodopera risulti più facilmente reperibile e a costi inferiori rispetto a mezzi tecnicamente avanzati, che ne rendano inefficace lo sfruttamento.



Fig 2.29 Edificio ricostruito col getto in canapulo e calce in seguito al terremoto che ha colpito l'emilia nel 2012 (Olver Zaccanti)



Fig 2.30 Edificio unifamiliare realizzato col getto in canapulo e calce (HempEcoSystem)

2.2.2 SISTEMA STRUTTURALE

I sistemi strutturali più indicati per la messa in opera manuale del getto di canapulo e calce sono strutture lignee ad ossatura portante trave-pilastro, a telaio (timber-frame) o a traliccio. Questi sistemi permettono di: inglobare la struttura all'interno del getto di canapulo e calce in modo da ridurre i ponti termici e ottimizzare lo spessore dei muri perimetrali; utilizzare sistemi di casseratura removibili in modo agevole fissandoli direttamente alla struttura mediante il semplice utilizzo di viti nei casi in cui necessario; evitare l'utilizzo di casseri a perdere o contropareti con le problematiche legate all'asciugatura del getto che questi comportano.

Ossatura portante trave-pilastro:

Questo sistema costituito da elementi lineari (travi e pilastri) viene progettato a partire da un reticolo orizzontale e verticale basato su un modulo scelto a piacimento per soddisfare le esigenze compositive e di gestione degli spazi specifiche del progetto; dall'avvento del legno lamellare incollato questa caratteristica di versatilità è ancora più marcata grazie all'aumento dei possibili interassi di travi e pilastri e il loro utilizzo nel disegno degli spazi interni dell'edificio. Gli elementi portanti secondari (travi, puntoni) sono inseriti sopra o in mezzo alla struttura portante principale.

Il sistema a ossatura portante lascia totale libertà nella scelta del sistema costruttivo dei muri perimetrali e degli elementi divisori grazie alla sua caratteristica di trasmissione dei carichi verticali attraverso elementi strutturali di tipo lineare che svincola i tamponamenti e le partizioni interne da funzioni strutturali, anche se possono dare un contributo in termini di irrigidimento, funzione in genere assolta da diagonali in acciaio o legno. Queste caratteristiche permettono di realizzare il muro perimetrale di tamponamento con il getto di canapulo e calce senza che quest'ultimo debba assolvere funzioni strutturali, inoltre il fatto che le superfici sia interne che esterne dei paramenti murari rimangano libere favorisce l'asciugatura ottimale della parete.

Pur non assolvendo una funzione portante e necessario ancorare il muro in canapulo e calce alla struttura principale per evitare il ribaltamento della parete in caso di sisma, a questo scopo viene predisposto durante il montaggio della struttura lignea una struttura secondaria che può essere un reticolo ortogonale in listelli di legno opportunamente fissato agli elementi strutturali verticali e orizzontali e successivamente inglobato dal getto di canapulo e calce; oppure un sistema sistema di montanti verticali sempre in legno fissati agli elementi primari orizzontali, soprattutto nel caso sia stato scelto un rivestimento in tavole di legno o in pannelli di altri materiali da applicare esternamente a secco.



Fig 2.31 Struttura portante in legno trave-pilastro con croci di sant'andrea come controventi (Olver Zaccanti)



Fig 2.31 Struttura portante in legno trave-pilastro con croci di sant'andrea come controventi (Olver Zaccanti)



Fig 2.32 Griglia di collegamento tra la struttura e il getto in canapulo e calce (Olver Zaccanti)

Intelaiatura in legno:

Si tratta di una struttura composta da un'ossatura portante di montanti di sezioni ridotte e posti a distanza ravvicinata, rivestiti su uno o due lati da pannelli a base di legno o gesso a formare un'unica lastra. La parete così ottenuta, che può essere assemblata in stabilimento e posata molto rapidamente come un elemento unico, è in grado di sostenere i carichi verticali del tetto e dei solai, che gravano sui montanti verticali; i carichi da vento nonché quelli di irrigidimento, grazie al sistema montanti-pannelli che lavorano congiuntamente stabilizzandosi a vicenda, aspetto che consente l'utilizzo di montanti particolarmente snelli.

Nell'associare questo sistema al getto manuale di canapulo e calce sorge il problema di garantire un'asciugatura ottimale del materiale che risulta difficoltosa anche quando i pannelli di rivestimento del telaio, utilizzati come cassero a perdere, sono traspiranti. Esistono diverse soluzioni per ovviare a questo problema:

-assemblaggio in stabilimento di tutto il sistema parete, con il pannello che verrà montato successivamente al periodo di asciugatura del materiale.

-utilizzo di elementi diagonali in legno o acciaio ed eventualmente porzioni di pannello ad irrigidire gli angoli del telaio, per eliminare i pannelli e lavorare come per il sistema precedente con casseri mobili ed avere le superfici interne ed esterne esposte all'aria. Gli elementi di controventatura vanno valutati e progettati caso per caso da un ingegnere strutturista.



Fig 2.33 Struttura intelaiata con diagonali di collegamento (Building with hemp)

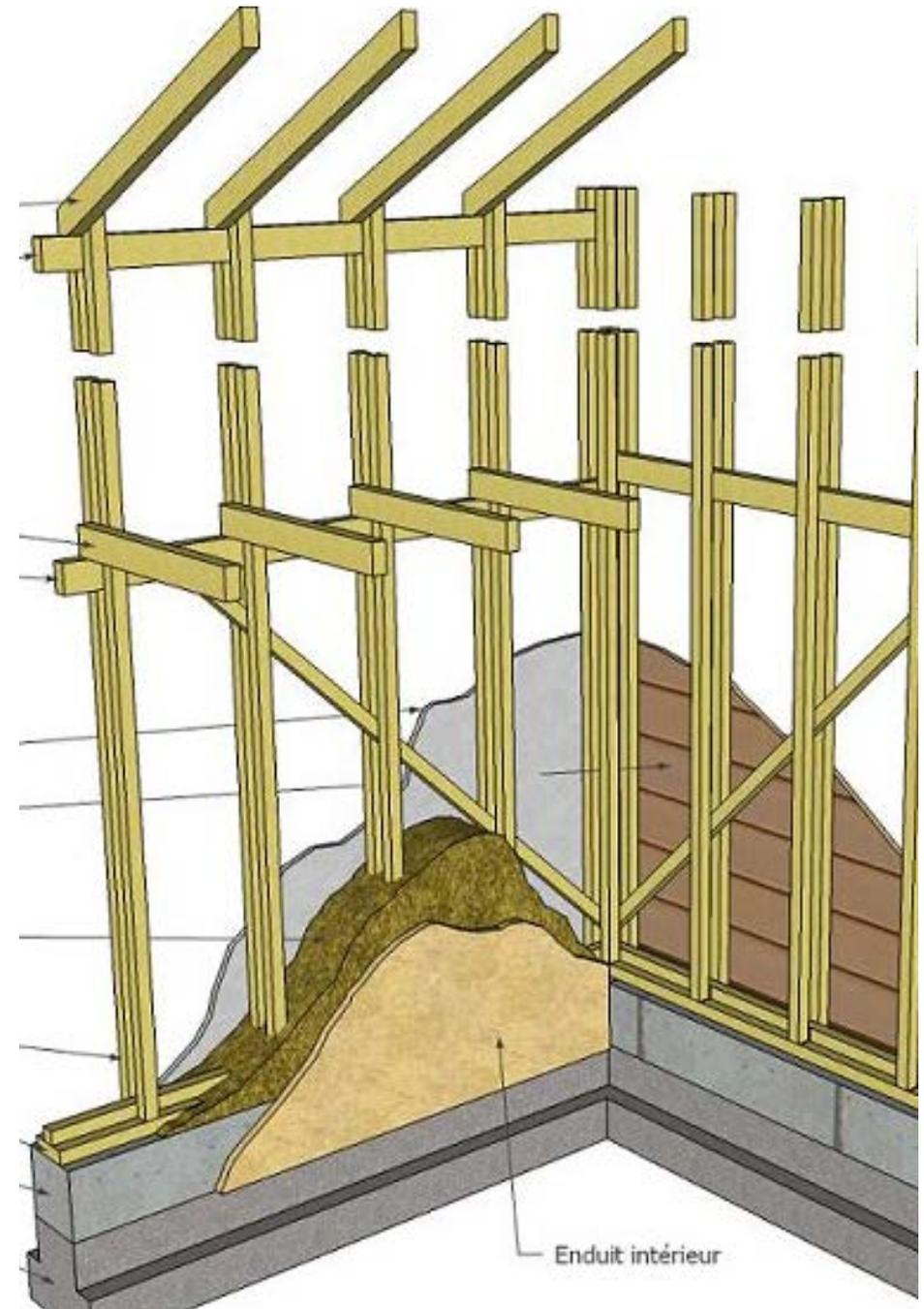


Fig 2.34 Struttura intelaiata con diagonali di collegamento concepita per il tamponamento in terrapaglia con gli stessi principi delle costruzioni in getto di canapulo e calce (terrepaille.fr)

2.2.3 CARATTERISTICHE DELL'IMPRESA:

La posa in opera manuale in cantiere viene in genere eseguita da imprese di piccole dimensioni specializzate in questo tipo di costruzioni o perlomeno con esperienza pregressa, gli operatori devono essere in grado di produrre artigianalmente la miscela in cantiere, aggiustando i dosaggi in caso di condizioni ambientali particolari e aver sviluppato una sensibilità nel procedimento di compressione del materiale in modo che risulti il più possibile uniforme e non eccessivamente compresso per non comprometterne la prestazione dal punto di vista termico. Nell'applicazione delle finiture e degli intonaci è necessario che gli operatori abbiano sviluppato la manualità necessaria per eseguire un lavoro a regola d'arte. L'unico macchinario necessario è il miscelatore.

2.2.4 ESIGENZE SPECIFICHE DI CANTIERE

Essendo una modalità di lavoro artigianale e manuale i tempi di messa in opera saranno più lunghi rispetto a metodi che utilizzano delle macchine e soggetti al numero e all'abilità degli operatori. Dal punto di vista logistico risulta invece un metodo di lavoro molto versatile, adattabile anche a siti che presentano aree inaccessibili ai macchinari o in cui la disponibilità di energia elettrica è limitata.



Fig 2.35 Miscelazione (HempEcoSystem)



Fig 2.36 Trasporto (HempEcoSystem)



Fig 2.37 Posa (HempEcoSystem)

2.2.5 PROGETTAZIONE DEGLI ELEMENTI E RELATIVE TECNICHE COSTRUTTIVE.

2.2.5.1 PREPARAZIONE DELLA MISCELA



Fig 2.38 I componenti della miscela: canapulo,calce,adittivi (HempEcoSystem)

Esistono due principali metodi per la preparazione della miscela di canapulo e calce che differiscono principalmente dal tipo di miscelatore utilizzato (betoniera o miscelatore a braccio planetario) e dal tipo di miscela che si vuole produrre (più o meno grassa). Il primo metodo, che si adatta meglio all'utilizzo della betoniera (ma può essere usato anche col miscelatore senza grandi differenze) e/o alla produzione di miscele magre (10-25% di calce nella miscela), consiste nel miscelare la calce con l'acqua fino all'ottenimento di una miscela uniforme (barbottina) e solo in seguito aggiungere il canapulo e continuare a miscelare a velocità minima fino ad ottenere un impasto omogeneo. Con la betoniera è più facile che il materiale si appallottoli compromettendo la corretta formazione dell'impasto, per evitare ciò è necessario aggiungere il canapulo gradualmente e assicurarsi di aver messo una sufficiente quantità d'acqua; nel caso il materiale inizi ad appallottolarsi si può inserire un mattone o un sasso all'interno della betoniera per favorire lo sfaldamento delle sfere. Il secondo metodo è da prediligere con il miscelatore a braccio planetario o a vite senza fine e consiste nell'inserire il canapulo con circa un terzo dell'acqua nel miscelatore, attendere che l'acqua venga assorbita dal canapulo e poi progressivamente aggiungere la calce e il resto dell'acqua continuando a miscelare lentamente fino ad ottenere



Fig 2.39 Miscelatore a braccio planetario (Olver Zaccanti)



Fig 2.40 Miscelatore a vite senza fine (HempEcoSystem)



Fig 2.41 Betoniera (tuttocantiereonline.com)



Fig 2.42 Dosaggio (Olver zaccanti)



Fig 2.43 Inserimento canapulo (HES)



Fig 2.44 Miscelazione canapulo e acqua (HempEcoSystem)



Fig 2.45 Aggiunta della calce alla miscela (HempEcoSystem)



Fig 2.46 Scarico (HempEcoSystem)

un impasto omogeneo. Il materiale ottenuto dev'essere umido ma non bagnato, per saggiarne la consistenza si può comprimere una manciata di impasto con la mano, una volta riaperta l'impasto non deve nè rimanere compatto nè sgretolarsi ma rimanere coeso espandendosi leggermente; infilandovi un dito il materiale non deve sgretolarsi nè creare un foro bensì dividersi in due, in questo caso il quantitativo d'acqua presente nella miscela è corretto. È buona pratica spargere il materiale su un telo impermeabile che lo protegga dalla sporcizia e lasciarlo evaporare per una o due ore prima di procedere alla messa in opera.



Fig 2.47 Test consistenza dovuta alla quantità d'acqua presente nell'impasto (The Hempcrete Book-Sparrow, Stanwix)



Fig 2.48 Formazione di pallottole nell'impasto (Coltivare l'architettura sostenibile-Sorek, Ponzoni)



Fig 2.49 Consistenza corretta (Olver Zaccanti)

2.2.5.2 MURO DI TAMPONAMENTO

Come è stato già accennato nel paragrafo riguardante la scelta del sistema strutturale l'aspetto più importante nella progettazione di un muro di tamponamento eseguito con il getto manuale riguarda la scelta del sistema di cassetatura. Il sistema di cassetatura è interamente responsabile dello spessore e della precisa esecuzione dei muri e fondamentale nel definire la rapidità e facilità di esecuzione della messa in opera.

Nel gettare la miscela di canapulo e calce si procede ad "anelli": si getta lungo tutto il perimetro dell'edificio fino a un'altezza massima di 1,5 m (ottimale sarebbe rimanere tra i 60cm e il metro) e solo una volta completato si procede ad alzare i casseri per gettare lo strato superiore in modo da avere la porzione inferiore del muro sufficientemente indurita da non deformarsi con il peso dello strato successivo.



Fig 2.50 Sistema di cassetatura, primo livello (THB-Sparrow, Stanwix)



Fig 2.51-52 Posa e distribuzione della miscela (THB-S.S.)



Fig 2.53 Scasseratura primo livello (Olver Zaccanti)



Fig 2.54 Casseri al livello superiore (Olver Zaccanti)



Fig 2.55 Getto completato (HempEcoSystem)

Esistono diversi possibili sistemi di cassetatura:

-Cassetatura ancorata alla struttura: vengono utilizzati pannelli in genere in legno o a base di legno (tavole da carpenteria, osb, pannelli in compensato ecc.) che vengono fissati orizzontalmente alla struttura e distanziati dalla stessa utilizzando degli spessori o la lunghezza stessa delle viti con cui vengono ancorati alla parete in modo da raggiungere lo spessore del muro desiderato e permettere al getto di inglobare totalmente la struttura. Questo tipo di casseri risultano essere i più economici ma spesso con il tempo a causa dell'umidità dell'impasto si deformano e degradano non permettendone un uso prolungato.



Fig 2.56 Casseri OSB (THB-Sparrow, Stanwix)



Fig 2.57 Casseri in compensato e listelli (bhudeva.org)



Fig 2.58 Distanziatori casseri (THB-Sparrow, Stanwix)



Fig 2.59 Soluzione d'angolo (THB-Sparrow, Stanwix)

-Casseri in materiale sintetico: esistono sul mercato dei sistemi di cassetta modulare e in materiale sintetico (es. Geopanel) concepiti per il calcestruzzo ma che risultano estremamente funzionali anche per il getto di canapulo e calce. I vari moduli vengono uniti fra di loro tramite un sistema di aggancio rapido che si avvale di perni plastici dotati di maniglia e quindi molto facili e rapidi da utilizzare; sono inoltre dotati di barre filettate metalliche di allineamento che vengono inserite in appositi buchi attraversando il cassero ortogonalmente allo stesso e che fungono all'occorrenza anche da distanziatori essendo comodamente regolabili avvitando i dadi alle due estremità della barra esternamente ai casseri. Si tratta di un sistema estremamente funzionale e rapido che consente di risolvere agevolmente anche punti critici come angoli o incroci grazie alla possibilità di giuntare i moduli anche ortogonalmente gli uni agli altri. L'alto costo di questi sistemi è giustificato dalla durabilità degli stessi garantita dal tecnopolimero ad alte prestazioni di cui sono costituiti.

-Casseri metallici: la svizzera Hemp Eco System ha ideato un sistema di cassetta metallico studiato ad hoc per le costruzioni in canapulo e calce, pensato appositamente per essere riutilizzato in molti cantieri e per aumentare la rapidità di esecuzione del muro. Si tratta di un sistema costituito da montanti scatolari metallici verticali sui quali scorrono pannelli metallici grazie a un semplice profilo metallico saldato a questi ultimi e attraversato dai montanti e dotato di una vite a stringere per consentire il bloccaggio del pannello alla altezza desiderata. I montanti vengono ancorati a terra o al cordolo inferiore a un'estremità e ammortati al cordolo superiore o alla struttura del solaio all'altra estremità alla distanza necessaria per ottenere lo spessore del muro richiesto; si procede quindi a gettare la miscela per strati facendo scorrere i pannelli verso l'alto fino al completamento del muro.

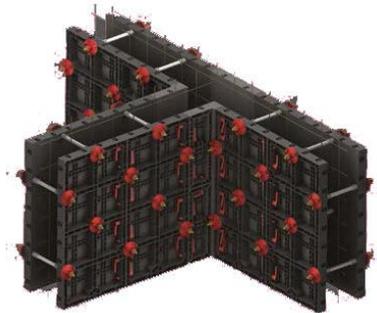


Fig 2.60 Sistema Geopanel (Geopanel)

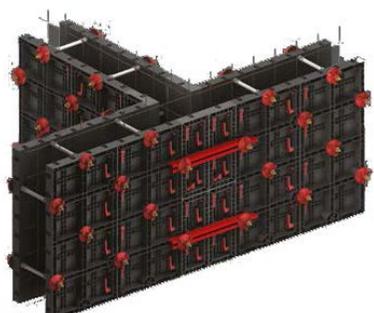


Fig 2.61 Sistema Geopanel (Geopanel)



Fig 2.62 Geopanel con getto in canapulo e calce (Geoplast)



Fig 2.63 Sistema Geopanel (Geoplast)



Fig 2.64 Sistema cassetta metallico ammortato al cordolo superiore (HempEcoSystem)



Fig 2.65-66 Sistema cassetta metallico, appoggio a terra e sistema di scorrimento dei casseri (HempEcoSystem)

2.2.5.3 ATTACCO A TERRA

Sia il muro in canapulo e calce che eventualmente la struttura in legno necessitano di protezione dall'umidità di risalita dal terreno e dalla pioggia di rimbalzo, è quindi necessario progettare uno zoccolo in materiale resistente all'umidità (in genere calcestruzzo) per sollevare la struttura dal terreno.



Fig 2.67 Struttura intelaiata con basamento in cemento armato HempEcoSystem



Fig 2.68 Basamento in mattoni forati (TechniChanvre)



Fig 2.69 Basamento in pietra e malta (THB-Sparrow, Stanwix)

2.2.5.4 INFISSI E APERTURE

È preferibile che gli architravi e gli elementi che costituiscono la struttura degli infissi abbiano una sezione a T per evitare l'accumulo dell'umidità del getto sulla superficie dell'elemento ligneo. Le soglie e gli architravi delle finestre andranno protetti da una membrana idrorepellente che eviti all'umidità di penetrare nel muro.

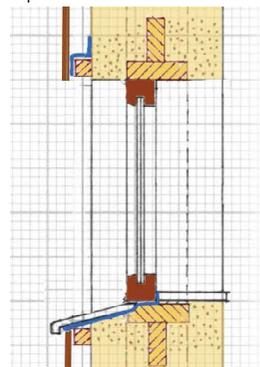


Fig 2.70 Architravi infissi a T (Manuale IHBA)

2.2.5.5 IMPIANTISTICA

Gli impianti idrici ed elettrici devono essere progettati in modo da poter essere ancorati alle strutture primarie e secondarie dell'edificio per poi essere inglobate dal getto successivamente; è preferibile evitare di aprire fughe a getto ultimato, per quanto sia un materiale relativamente facile da scavare può essere soggetto a sgretolamento. È importante che i tubi rimangano distanziati tra loro almeno 2-3 centimetri per evitare di interrompere la continuità del getto e che vengano coperti da almeno 2 cm di impasto per evitare distacchi; le scatole dell'impianto elettrico vanno posizionate leggermente all'interno di dove ci si aspetta il filo della parete per evitare la possibilità che sporgano.



Fig 2.71 Predisposizione impianto elettrico (Olver Zaccanti)



Fig 2.72 Predisposizione impianto elettrico (Olver Zaccanti)



Fig 2.73 Scatole impianto elettrico annegate nel getto (THB-SS)



Fig 2.74 Scatole impianto elettrico annegate nel getto (O.Z.)

2.2.5.6 INTONACO E FINITURE

Il muro di canapulo e calce e va protetto esternamente dagli agenti atmosferici con un intonaco a base di calce e sabbia, è importante evitare l'utilizzo di prodotti sintetici o additivati che compromettono la traspirabilità della parete. Si procede applicando uno strato di rinzaffo, una malta molto bagnata, con un elevato dosaggio di legante e una granulometria dell'aggregato più grossa che viene lanciata con forza in modo che l'aggregato "morda" la superficie del muro; se la parete di canapulo e calce è stata eseguita a regola d'arte e non presenta particolari disomogeneità o mancanze, uno strato di uno due centimetri può essere sufficiente; nella caso di una superficie particolarmente liscia può essere utile posizionare una rete in fibra di vetro per evitare il ritiro dell'intonaco anche se in genere questa funzione viene svolta dal reticolo formato dal canapulo sulla superficie del muro. Si procede quindi con un intonaco di corpo, che ha la funzione di ottenere una superficie piana e proteggere il muro dall'umidità, e presenta un maggior quantità di inerte, in questo caso di granulometria media (3mm); con l'intonaco di corpo bisogna evitare di eccedere con la quantità d'acqua per evitare la possibilità di ritiro e la conseguente insorgenza di cavillature sulla superficie dell'intonaco; spessore 1-2cm. Lo strato successivo di rasatura (1-2 mm) è costituito da una miscela 1:1 calce e sabbia fine, ha una funzione estetica o di preparazione per accogliere la finitura, dev'essere quindi il più liscia possibile per evitare di sprecare nella stesura successivo eccessivo materiale che nel caso di alcune finiture pregiate può essere molto costoso. Lo strato di finitura ha funzione estetica, è molto sottile e presenta una proporzione di 1:0,5 con inerti molto fini (povere di marmo, cocciopesto ecc), in caso di pareti molto esposte si può valutare un trattamento impermeabilizzante atto a chiudere i pori dell'intonaco (sapone, cera d'api ecc). Nella progettazione dell'intonaco si può valutare l'inserimento di una parte di canapulo e di fibre di canapa a scalare nella granulometria come gli inerti e che andrà parzialmente a sostituire questi ultimi nelle proporzioni

della miscela per garantire una maggior gradualità nel passaggio da un materiale più flessibile (canapulo e calce) a uno più rigido (intonaco calce-sabbia), ed evitare discontinuità tra i due elementi, dovuta alla differenza di rigidità e quindi di movimento dei due elementi stessi. Per la parete interna può essere applicato lo stesso tipo di intonaco come può essere lasciata grezza o in alternativa si può applicare un intonaco in terra cruda (rispettando gli stessi dettami dell'intonaco a calce sullo scalare della granulometria e proporzione di inerte) che contribuisce ad aumentare la prestazione di inerzia termica e regolazione igrometrica del sistema.

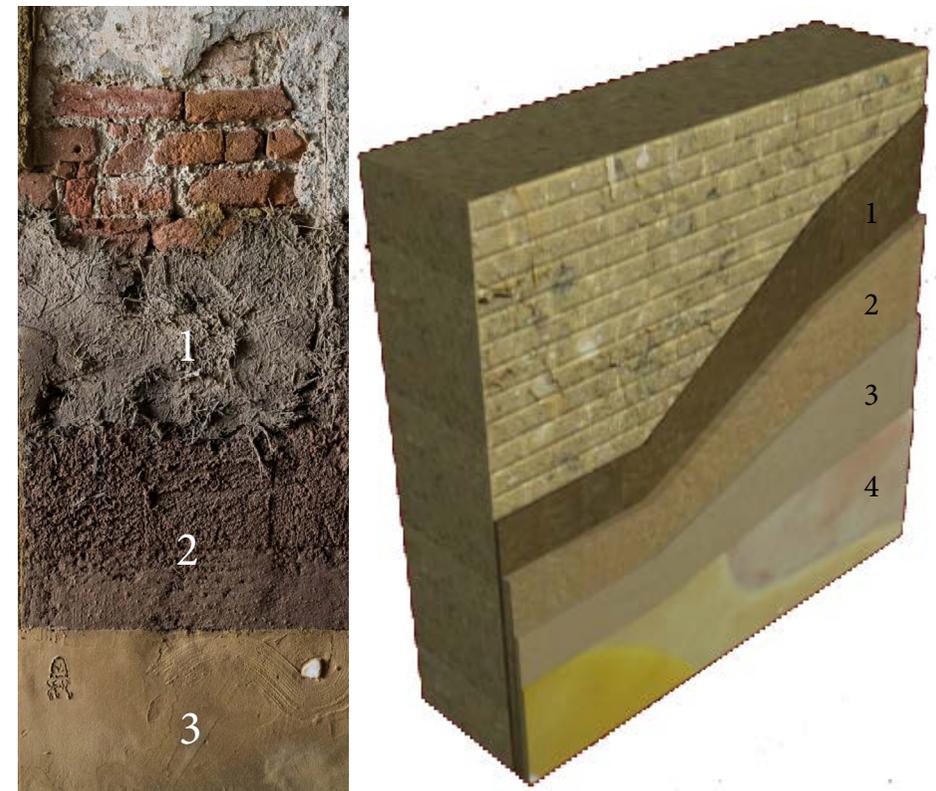


Fig 2.94-95 Stratigrafi degli intonaci: 1-Rinzaffo 2-Corpo 3-Rasatura 4-Finitura (arch. Sergio Sabbadini)

2.2.5.7 MASSETTO CALPESTABILE

Il massetto in canapulo e calce è costituito da una miscela magra, con minor legante rispetto al mix utilizzato per i muri perimetrali in quanto non necessita della resistenza meccanica e della coesione di un elemento verticale, seppur non portante; le funzioni che assolve sono unicamente di isolamento. La miscela viene sparsa sulla superficie destinata ad accoglierla, che dev'essere pulita e in caso di necessità rivestita da una membrana antipolvere, e staggiata in modo da livellarla ed ottenere un piano il più uniforme possibile (spessore compreso tra i 15-25 cm in base al grado di isolamento richiesto); non è necessario che la superficie sia perfettamente liscia, in quanto sarà compito dello strato successivo (calce-sabbia, pannelli ecc) garantire la perfetta planarità, ma sono da evitare protuberanze e cavità e in generale disomogeneità nella densità del materiale; bisogna prestare attenzione a non comprimerlo eccessivamente durante l'operazione di livellatura per non comprometterne le proprietà isolanti.

Massetto solaio controterra: Nel caso di massetto controterra lo strato di canapulo e calce viene posato direttamente sullo strato drenante e progettato per evitare la risalita capillare di umidità (ghiaia, vetro cellulare ecc), oppure come strato immediatamente successivo al vespaio areato ove presente.

Massetto solai intermedi: Il massetto è posato direttamente sulla struttura portante del solaio.

La stratigrafia viene completata in genere da un massetto più rigido per uno spessore che varia tra i 4-8 cm (calce-sabbia, boiaccia di calce, canapulo e calce più grasso, cocchiopesto, pannelli gesso-fibra ecc), che in alcuni casi ingloba il riscaldamento a pavimento fissato allo strato sottostante di canapulo e calce, e sul quale viene posata la finitura finale del pavimento (parquet, piastrelle, cocchiopesto, ecc). Prima di applicare gli strati di chiusura è necessario lasciare asciugare il massetto in canapulo e calce per un periodo di circa 4 settimane (variabile in base alle condizioni ambientali).

In alcuni casi per aumentare le prestazioni termiche del pacchetto costruttivo viene inserito uno strato isolante in pannelli in fibre naturali appena sopra lo strato in canapulo e calce.

È importante che sia garantita la traspirabilità dell'elemento costruttivo per permettere la maturazione del getto nel tempo e il pieno svolgimento delle sua attività di regolazione igrometrica, non sono quindi necessari freni al vapore, che potrebbero in alcuni casi addirittura risultare dannosi.

Nel massetto di canapulo e calce è possibile quando necessario annegare le tubazioni dell'impianto idrico che in questo caso vanno predisposte prima di versare la miscela.



Fig 2.75 Getto guida per stabilire altezza massetto livello del getto (TechniChanvre)



Fig 2.76 Getto guida per stabilire altezza massetto livello del getto (TechniChanvre)



Fig 2.77 Posa della miscela (TechniChanvre)



Fig 2.78 Posa del impianto di riscaldamento a pavimento (TechniChanvre)



Fig 2.79 Posa del massetto di calce e sabbia (TechniChanvre)



Fig 2.80 Posa del finitura pavimento (TechniChanvre)

2.2.5.8 SOLAI NON CALPESTABILI E COPERTURE INCLINATE

Nel caso dell'isolamento di solai piani o inclinati non calpestabili si utilizza una miscela ancora più asciutta di quella utilizzata per i massetti calpestabili in quanto non è necessaria alcuna funzione di tipo meccanico; in caso di copertura piana o inclinata si utilizza canapulo sfuso. La miscela viene versata a riempire gli spazi tra i travetti che costituiscono la struttura del solaio e l'assito, la pannellatura o la rete di contenimento inferiore, che vanno così a formare delle vere e proprie casse di contenimento del materiale; in genere è necessario aggiungere degli spessori ai travetti per raggiungere l'altezza necessaria per ottenere una prestazione isolante soddisfacente.

Superfici piane: La miscela viene livellata e leggermente compressa (sempre prestando attenzione a non esagerare per non compromettere la funzione isolante). Una volta asciugato il getto si può procedere ad applicare lo strato di rivestimento o copertura; sono da prediligere sistemi a secco che meglio si adattano alla superficie disomogenea miscela-travetto e che possono venire agevolmente fissati ai travetti stessi; è importante in questa fase garantire un certo grado di traspirabilità tramite l'utilizzo di materiali idonei (solai intermedi) o la progettazione di un adeguata ventilazione (coperture).

Superfici inclinate: Nel caso di coperture inclinate è necessario ovviare al problema dello scivolamento verso il basso del materiale causato dalla forza di gravità. Una prima soluzione consiste nel creare un'alternanza di strati di canapulo sfuso (5 cm) e boiaccia di calce, una miscela liquida di acqua e calce che viene spruzzata sullo strato di canapulo (pochi mm). In questo modo si evita lo scivolamento del canapulo sfuso verso il basso, consolidando grazie alla proprietà meccaniche della calce ogni strato di canapulo, che risulta sufficientemente sottile e compatto (viene livellato e costipato manualmente) da non permettere lo scivolamento. Questo metodo consente di risparmiare il tempo necessario alla miscelazione di un impasto vero e proprio e riduce

l'apporto di calce necessario, riducendo i costi e migliorando la prestazione termica dell'elemento.

Un altro metodo consiste nel creare una struttura a cassettoni, con un orditura di travetti trasversale e una longitudinale sovrapposti, in modo da creare un sistema di contenimento del getto che interrompa a intervalli regolari lo scivolamento del materiale.

Un terzo metodo consiste nell'applicazione di una miscela di canapulo e calce sufficientemente grassa da garantire la coesione del materiale; in fase di posa una serie di dispositivi in filo di ferro disposti a croce nello spazio tra i travetti, impedirà lo scivolamento del materiale che comunque risulta più coeso del canapulo sfuso; il getto in questo caso viene contenuto nella parte inferiore da una rete fissata ai travetti in modo da garantire la ventilazione necessaria alla corretta asciugatura del materiale anche una volta che è stato posato il manto di copertura; risulterebbe infatti rischioso attendere il tempo di asciugatura con il getto esposto alle intemperie.



Fig 2.81 Copertura a cassettoni (Olver Zaccanti)



Fig 2.82 Posa della miscela su copertura a cassettoni (Olver Zaccanti)



Fig 2.83 Sistema con rete di contenimento e filo di ferro (HempEcoSystem)



Fig 2.84 Isolamento solaio non calpestabile (Olver Zaccanti)

2.3 PROPRIETÀ

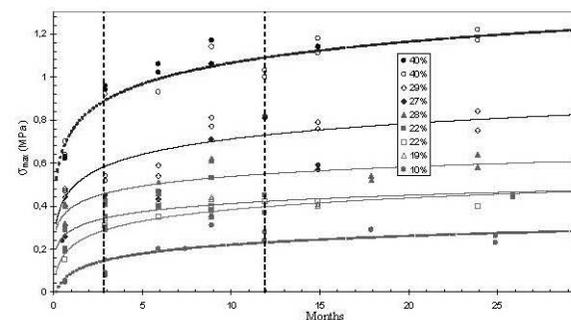
Le prestazioni del materiale da costruzione canapulo e calce sono da qualche anno al centro di numerose ricerche. Ciononostante, trattandosi di un materiale relativamente nuovo, saranno necessarie ulteriori indagini per comprenderne a pieno le caratteristiche e conoscere da quali fattori sono influenzate le sue prestazioni. Con l'aumento esponenziale di costruzioni realizzate con questo materiale negli ultimi anni e la possibilità di studiarle e monitorarle si avranno sempre più dati utili a delinearne in modo chiaro e univoco le caratteristiche, cosa ad oggi non ancora fattibile. In un periodo come questo, in cui si sta operando una graduale transizione globale verso un'economia sostenibile anche a livello ambientale e a bassa emissione di CO₂, il settore dei prodotti a base vegetale sta acquisendo sempre più importanza rispetto allo sviluppo di nuove tecnologie. In questo contesto materiali bioedili come il canapulo e calce ma anche molti altri sono diventati oggetto di ricerca e sperimentazione da parte di numerosi istituti pubblici e privati in giro per il mondo. Ad oggi la gran parte della ricerca che riguarda l'utilizzo della canapa in edilizia è stata intrapresa e finanziata da aziende produttrici di materiali innovativi per la bioedilizia e quindi è focalizzata soprattutto a dimostrare la validità dei propri prodotti in relazione alle normative dei paesi a cui è destinata la vendita, normative che variano da paese a paese. Risulta quindi molto complesso comparare dati e scoperte riferite a materiali differenti, prodotti, messi in opera in maniera differente ed utilizzati con obiettivi diversi in base al contesto legislativo a cui sono rivolti. A questo si aggiunge una certa riluttanza da parte di molti a rendere pubblici i risultati di ricerche e brevetti di proprietà privata, creando un problema di scarsa accessibilità alla conoscenza dello stato dell'arte del materiale edilizio canapulo e calce da parte del settore industriale. Ad oggi solo in Francia (Regles professionnel de construire en chanvre) si hanno delle linee guida che stabiliscono uno standard sul tipo di caratteristiche che deve avere il materiale, non sufficienti a stabilire quelle procedure

standardizzate di produzione e utilizzo del materiale necessarie per arrivare a delle conclusioni condivise a livello internazionale. Il tema più ricorrente e oggetto di ricerca a tutti i livelli (dal singolo costruttore, alle aziende produttrici, agli istituti di ricerca) riguarda il comprendere quali delle prestazioni del materiale composito in canapa e calce finito siano influenzate da tre fattori chiave: le caratteristiche individuali dei componenti (canapulo e legante), le proporzioni di questi ultimi e la quantità d'acqua utilizzata per miscelarli, le tecniche utilizzate durante la produzione della miscela e le modalità di messa in opera. Ad esempio: come la qualità e la pezzatura del canapulo influenza la coesione del getto e le sue proprietà meccaniche; come la quantità di legante influisce sulle proprietà di isolamento acustico; come le differenze del livello di compattazione del materiale durante la posa in opera influenzano le proprietà termiche del materiale. Spesso un'unica caratteristica è determinata da almeno due di queste variabili. Per questo motivo tale materiali in alcuni casi risulta essere un materiale di difficile comprensione e di conseguenza di venir bollato come imprevedibile, quando invece, una volta compresi i principi che determinano queste variabili, risulta essere un materiale estremamente versatile ed affidabile con una serie di punti di forza ben definiti e che proprio agendo su queste variabili può essere adattato andando a coprire una vasta gamma di soluzioni e applicazioni.

2.3.1 PROPRIETÀ E COMPORTAMENTO MECCANICO

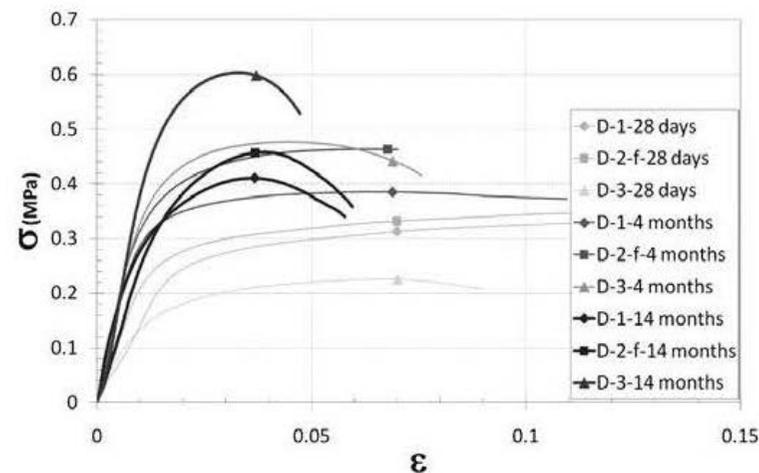
La miscela in canapulo e calce è un materiale composito costituito da un aggregato poroso vegetale (canapulo) e da un legante, che può variare definendo diversi gradi di idraulicizzazione e carbonatazione. L'aspetto che maggiormente differenzia il canapulo e calce dai materiali compositi tradizionalmente usati in edilizia, come i calcestruzzi, risiede nella natura altamente porosa a livello microscopico dell'aggregato vegetale. Questa porosità dona una naturale flessibilità ai frammenti di canapulo che unita alla porosità macroscopica, dovuta alla particolare configurazione che assume il canapulo all'interno del getto, è responsabile di una serie di caratteristiche uniche di leggerezza, capacità di assorbimento e proprietà termiche e acustiche, che non si trovano nei calcestruzzi che sono costituiti da aggregati rigidi e non porosi. La flessibilità e la porosità del canapulo sono responsabili anche di una serie di interessanti qualità di elasticità e resistenza a flessione. Allo stesso tempo queste caratteristiche rendono il materiale non adatto ad assolvere funzioni portanti. La combinazione della flessibilità del canapulo con un legante che asciugando indurisce progressivamente da vita a un materiale, che contrariamente a molti altri materiali da costruzione, dimostra un alto grado di deformabilità se sottoposto a particolari sollecitazioni, una mancanza di fratturazioni e una grande capacità plastica nel cambiare forma senza rompersi anche quando viene raggiunta la massima resistenza meccanica caratteristica del legante. Queste caratteristiche, unite al significativo contributo che il muro in canapulo e calce apporta alla controventatura del telaio strutturale, risultano facilmente spendibili nella progettazione antisismica, con strutture in grado di affrontare le scosse senza collassare. Un altro aspetto decisamente interessante è che il comportamento meccanico del canapulo e calce può essere facilmente manipolato modificando le proporzioni della miscela e andando di fatto a produrre differenti tipi di materiale in base alle esigenze specifiche; ad esempio nel caso della miscela per l'isolamento del tetto, in cui

la percentuale di legante è relativamente bassa per privilegiare le proprietà di isolamento termico rispetto alla coesione meccanica del getto, a livello microscopico si presenta come una matrice di particelle di canapulo collegate da ponti di legante; mentre nel caso di una miscela per muri o per massetti calpestabili, che richiedono una percentuale di legante molto più elevata per sostenere il peso delle persone che vi camminano sopra, si avrà un mix ad alta densità che si configura come una matrice continua



Change over time in the mechanical characteristics of the hempcretes (simple strength and Young's modulus), observed for aerated lime-based concretes for different binder content values per volume [CER 05]

Fig 2.85 (Bio aggregate based building materials-Amziane,Arnaud)



Stress/strain curves at different times for hempcretes made using hemp shiv samples with different PSDs [GOU 09; ARN 12]

Fig 2.86 (Bio aggregate based building materials-Amziane,Arnaud)

di legante con le particelle di canapulo completamente immerse al suo interno. Esistono svariati studi che dimostrano un'insufficiente resistenza a compressione del canapulo e calce perchè questo sia usato come materiale portante; per raggiungere la resistenza a compressione necessaria a svolgere questa funzione è necessario raggiungere una densità elevata andando ad aumentare la proporzione di legante ed eventualmente aggiungendo una frazione di cemento e/o sabbia. Tali interventi andrebbero a compromettere la sostenibilità del materiale dal punto di vista economico e ambientale e andrebbero a sacrificare buona parte della capacità isolante del materiale ed aumentandone la quantità di energia incorporata. I test effettuati su campioni del materiale (in genere blocchi prefabbricati) non sono tuttavia completamente soddisfacenti nell'analizzare il comportamento del getto in canapulo e calce, in quanto utilizzano metodi di misura delle prestazioni strutturali tipici dei sistemi in muratura che reagiscono in maniera completamente diversa; inoltre non prendono generalmente in considerazione l'effetto della stagionatura del materiale su queste prestazioni e la differenza tra un blocco prefabbricato e una parete gettata in opera. Il canapulo e calce sottoposto a compressione non crepa e frattura come la muratura, bensì si deforma e piega recuperando parzialmente la sua forma iniziale quando il carico viene rimosso. Nonostante non abbia capacità portante, è indubbio che nei casi in cui il getto di canapulo e calce viene usato come muro di tamponamento ad inglobare gli elementi di una struttura a telaio in legno, ricopre un'importante funzione strutturale: una volta indurito, il muro in canapulo e calce aggiunge al telaio strutturale in legno una notevole resistenza a taglio in risposta ad azioni orizzontali esterne come i carichi da vento; questa capacità è tale da poter, in alcuni casi, eliminare gli elementi diagonali di controvento tradizionalmente usati in questo tipo di strutture. In base agli studi portati avanti da Amziane e Arnaud, il tamponamento in getto di canapulo e calce è in grado di fornire una resistenza fino a dieci volte superiore rispetto a un controvento diagonale ligneo; inoltre contribuisce

a ridurre drasticamente la deformazione della struttura in caso di rottura della stessa. L'eliminazione dei controventi ma anche degli elementi orizzontali con funzione di irrigidimento della struttura a telaio, comportano un grande risparmio di tempo, manodopera e materiale. Le diagonali di controventamento risultano essere gli elementi del telaio che richiedono maggior tempo e quantità di lavoro per l'installazione nonché gli elementi di maggior disturbo durante il getto della parete in canapulo e calce. Ad oggi, non esistendo normative che regolino l'utilizzo di questo materiale e che ne certifichino le proprietà e il corretto utilizzo, risulta piuttosto complesso ricevere le autorizzazioni necessarie a costruire una struttura di questo tipo senza elementi di controventamento. Sono ancora molto rari gli strutturisti e i tecnici che conoscono le proprietà di questo materiale e che si assumono la responsabilità della sua messa in opera, perciò si è generalmente costretti a inserire sempre almeno una minima quantità di controventi.

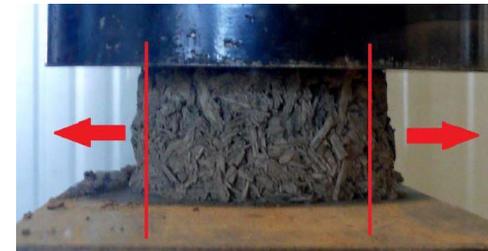


Fig 2.87 Test compressione (Università Modena e Reggio Emilia)

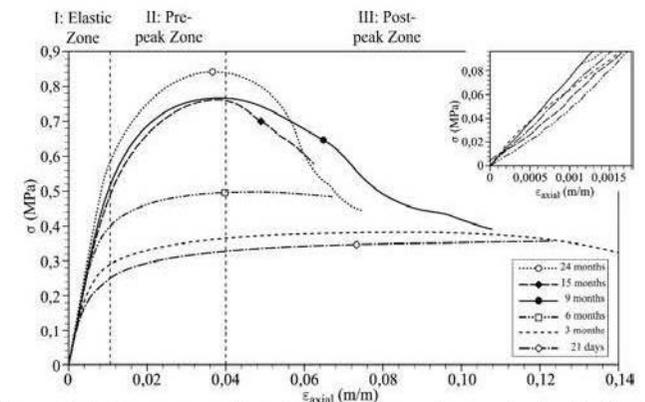


Fig 2.88 (Bio aggregate based building materials-Amziane, Arnaud) *Change over time in the compressive mechanical behavior of BCC A4-1.5 [CER 05]*

2.3.2 RESISTENZA AL FUOCO

La densità e la natura stessa del canapulo e calce, composto da elementi di origine vegetale, rivestiti da un legante a base di calce con cui reagisce mineralizzando, lo rendono un materiale in grado di sopportare molto bene una prolungata esposizione al fuoco. Questa caratteristica rende ancora più interessante il suo utilizzo con strutture lignee, in quanto funge da elemento protettivo di quest'ultime in caso di incendio. Esistono svariati test di resistenza al fuoco, eseguiti soprattutto da case produttrici per la certificazione dei propri prodotti e in alcuni casi, più rari, da enti di ricerca; dai diversi test risulta una resistenza al fuoco di minimo 73 min (*Building Research Establishment, UK: su getto Tradical*) fino a un massimo di 120 min (*Centre Scientifique et Technique du Bâtiment, Francia: per parete in blocchi da 25cm*); in tutti i test non si sono verificate emissioni nocive in seguito all'esposizione alla fiamma del materiale. La maggior parte dei produttori italiani espone appartenenza alla categoria A2 s1 d0 secondo la norma UNI 13501-1, "materiali non combustibili la cui applicazione evita il verificarsi di fenomeni di autoaccensione", "l'elemento strutturale può emettere una quantità estremamente limitata di gas di combustione". È quindi assodata la possibilità di utilizzare il materiale senza particolari accorgimenti laddove è richiesta una resistenza al fuoco di almeno 60 min, mentre per il raggiungimento dei 90 min o 120 min sarebbe opportuno stabilire alcune indicazioni sulle specifiche del materiale.



Fig 2.89-90 Test di resistenza al fuoco dopo 36 e 72 ore
(Performance of hempcrete walls subjected to a standard time-temperature fire curve-Gregor)

2.3.3 PERMEABILITÀ AL VAPORE E IGROSCOPICITÀ

Il canapulo è un materiale naturalmente permeabile al vapore, ciò significa che il vapore acqueo è libero di attraversarlo grazie alla natura porosa della sua struttura: a livello microscopico è costituito da una struttura capillare orientata in direzione del fusto della pianta, creata dalle cellule che costituiscono il tessuto interno dello stelo. Questa struttura capillare è responsabile della capacità del canapulo di assorbire e trattenere l'umidità dall'ambiente circostante e di rilasciarla in risposta alle variazioni che questo subisce. La maggior parte delle calce utilizzate nella miscela canapulo e calce condividono queste caratteristiche di permeabilità ed igroscopicità anche se a differenti livelli, andando a definire le caratteristiche finali del materiale composito: leganti ricchi di calce calciche (aeree) garantiranno un livello di permeabilità al vapore maggiore, mentre i leganti maggiormente idraulici riducono parzialmente questa caratteristica.

La capacità di assorbire l'umidità dell'ambiente interno e condensarla all'interno della parete (fino al 70% quando l'umidità relativa interna supera il 90%) e di rilasciarla quando l'aria è più asciutta evita la formazione di condensa e quindi di muffe sulla superficie della parete, ed è di grande beneficio nel controllo della qualità dell'aria interna degli edifici. Grazie alla basicità della calce idrata presente nell'impasto, il vapore acqueo assorbito e rilasciato durante il processo di respirazione, viene sanificato. In termini pratici questa caratteristica comporta un minor bisogno di ventilazione e condizionamento dell'aria, non c'è la necessità di un intercapedine d'aria per la ventilazione del muro ne di barriere al vapore, viene così scongiurato il rischio di condensa che tali barriere comportano.

2.3.4 PROPRIETÀ TERMICHE

Le proprietà termiche della miscela in canapulo e calce sono state oggetto di numerosi studi e test in laboratorio che ne hanno dimostrato la grande potenzialità per la progettazione di edifici ad alte prestazioni dal punto di vista del comfort interno e il consumo energetico; il monitoraggio di edifici realizzati con questa tecnica ne ha confermato la validità spesso mostrando risultati migliori a quelli misurati in laboratorio, grazie al comportamento del materiale all'interno di un sistema dinamico come quello di un edificio. Come già dimostrato per altre proprietà del materiale, anche in questo caso la densità del materiale (proporzione canapulo-legante+grado di compattazione in fase di messa in opera) è determinante nello stabilire la qualità della performance termica, che aumenta in modo inversamente proporzionale alla densità. A parità di spessore la capacità isolante (U) della miscela in calce e canapulo è minore rispetto a quella di molti materiali edilizi specifici per l'isolamento termico, ma la sua peculiarità di essere messo in opera per tutto lo spessore del muro (min 30 cm), consente di arrivare a valori di trasmittanza termica (U) molto buoni e compatibili con i requisiti più restrittivi delle normative della maggioranza dei paesi europei (fig.2.91). I valori di trasmittanza termica associati alla perdita di calore di un sistema statico, sono limitati nella capacità di descrivere il flusso di calore dinamico di un edificio reale e negli edifici in canapulo e calce quest'aspetto è particolarmente evidente. Il motivo è da ricercare nella combinazione unica di isolamento e inerzia termica unite alle proprietà igrometriche del materiale, e quindi nella particolare interazione tra temperatura e umidità che condiziona direttamente la performance termica di un edificio. La conducibilità termica dell'aria e di circa 20 volte inferiore quella della acqua; durante i picchi di umidità relativa nell'aria (che varia in base alla temperatura, più alta è la temperatura maggiore la quantità di vapore nella aria), il vapore acqueo viene assorbito dal muro di canapulo e calce, e parte di questo si condensa all'interno dei pori

del canapulo, fino a che questi non sono saturi. Quando l'umidità relativa dell'aria cala, il muro cede nuovamente vapore acqueo al sistema. In questo modo il muro cambia la propria conducibilità termica in base a quanta acqua o aria è presente al suo interno in quel momento, variando in questo modo anche la sua capacità di immagazzinare calore. Quest'effetto dinamico di variazione del calore che viene immagazzinato e rilasciato dal muro ha l'effetto di mitigare le variazioni di temperatura esterna mantenendo costante la temperatura interna senza bisogno di rinfrescare o riscaldare eccessivamente gli ambienti. Il canapulo e calce regola in modo passivo la temperatura e l'umidità aumentando il comfort abitativo sia in estate che in inverno, stabilizzando la differenza di temperatura diurna e notturna, minimizzando l'accumulo di calore sulla superficie della parete e regolando i livelli di umidità; evita fenomeni di condensa, assorbendo e rilasciando continuamente l'umidità attraverso la superficie della parete. Il getto di canapulo e calce forma un involucro monolitico che racchiude l'edificio con l'utilizzo di un unico materiale isolante, in continuità tra pareti perimetrali, solai e copertura, dimostrando di avere una grande capacità di raggiungere un'ottima tenuta all'aria ed evitare ponti termici, aspetti che influenzano positivamente la performance termica generale dell'edificio.

Typical U-values for hempcrete

Hempcrete wall thickness (mm)	250	300	350	400
U-value (W/m ² K)*	0.23	0.2	0.17	0.15

Fig 2.91 Valori di trasmittanza termica per diversi spessori di un getto di tamponamento di canapulo e calce (The Hempcrete Book-Sparrow, Stanwix)

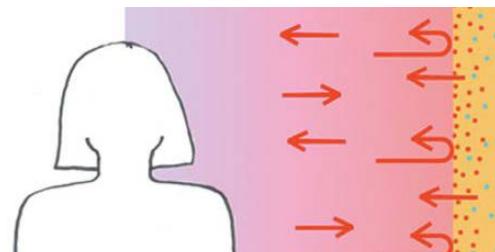


Fig 2.92 Accumulo e rilascio del calore da parte del muro in canapulo e calce (Building with hemp-Allin)

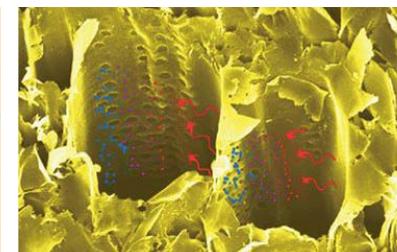


Fig 2.93 Fenomeno di condensa, rilascio del calore e accumulo dello stesso all'interno delle particelle di canapulo (BWH)

2.3.5 PROPRIETÀ ACUSTICHE

Le micro e macro porosità del canapulo e calce apportano benefici in termini di isolamento acustico tanto quanto fanno per l'isolamento termico. I diversi livelli di porosità determinano una peculiare e insolita qualità acustica, molto diversa da tutti gli altri materiali da costruzione. In tutti gli studi riguardanti il potere fono isolante del materiale non si è mai registrato un valore minore ai 50 dB (con spessore 10 cm); si può considerare un ottimo risultato in quanto corrisponde al valore minimo consentito in Svizzera che è il paese con le norme più restrittive da questo punto di vista.

Come per le altre proprietà esaminate, anche in questo caso tipologia di legante e densità del materiale influenzano la prestazione di isolamento e assorbimento del suono e in questo caso anche la qualità e la distribuzione delle particelle di canapulo all'interno del getto giocano un ruolo importante. I test effettuati fino ad ora hanno dimostrato come, se esaminato sfuso, il canapulo migliora la sua capacità di assorbimento acustico a granulometrie più fini; il gap tra una particella e l'altra in questo modo si riduce e così il flusso d'aria che lo attraversa, con la macro-porosità (spazio tra i frammenti di canapulo) del materiale che quindi influenza maggiormente la prestazione acustica rispetto alla micro porosità (interna ai frammenti di canapulo). Questo effetto viene però notevolmente ridotto quando i frammenti sono immersi nel legante; per quanto riguarda quest'ultimo tra calciaeree e idrauliche non c'è differenza dal punto di vista dell'assorbimento acustico mentre l'utilizzo di leganti cementizi (natural cement) ad alta densità diminuisce la prestazione acustica del materiale.

L'importanza che riveste la macro-porosità nel definire le proprietà di isolamento acustico del materiale, indica che è fondamentale controllare quelle caratteristiche (quantità di legante, compattazione materiale) che regolano la densità del materiale.



Fig 2.96 Le onde sonore penetrano il getto in canapulo e calce venendo dissipate dalla conformazione dei vuoti della struttura del materiale (Building with Hemp-Allin)



Fig 3.1 Getto in canapulo e calce, cantiere sperimentale a Janakpur, Nepal (SHIV)

3 CANAPULO E CALCE IN NEPAL

Le informazioni riportate nei prossimi capitoli sono frutto dell'esperienza acquisita sul campo dall'autore della tesi durante la sua permanenza in Nepal nella primavera del 2016. La ricerca è stata resa possibile dalla collaborazione diretta con l'azienda **SHIV (SaHalnnoVentures)** che si occupa dello sviluppo di costruzioni in canapa in Nepal e la ONG **CORD (Centre of Resilient Development)**, una delle istituzioni direttamente coinvolte nel processo di ricostruzione post-terremoto. Hanno contribuito anche una serie di rapporti informali intessuti in loco con altre realtà quali: **ABARI**, studio di ricerca e progettazione architettonica che lavora con il bambù e la terra cruda; **Conscious Impact**, onlus americana direttamente impegnata nella ricostruzione; **Dike Salute**, realtà italiana presente in Nepal, attiva nello studio della cannabis a scopo medico e alla riabilitazione pubblica della pianta; **Italia-Nepal Canapa Solidale**, associazione che promuove lo sviluppo di una filiera della canapa al fine di fornire un'opportunità di lavoro e guadagno a fasce di popolazione che lo necessitano. Un'interazione di questo genere, ha permesso di delineare un quadro delle possibilità e necessità presenti, più chiaro e realistico rispetto a quello desumibile dai soli documenti e dati ufficiali reperibili, che sono risultati spesso carenti e/o incompleti quando presenti. Particolarmente significative sono risultate le seguenti attività: Sperimentazioni sulle tecnologie in calce canapa nel primo cantiere in Nepal in cui è stata usata questa tecnica, dall'azienda SHIV: costruzione di alcune aule di supporto a un ospedale privato nell'area di Janakpur, nella zona meridionale del Nepal ai confini con l'India; le informazioni contenute nel capitolo 3 sono frutto di quest'esperienza.

Programma di training rivolti agli artigiani locali nei villaggi per acquisire le competenze necessarie a rendere sicure le proprie costruzioni, in particolare in un cantiere nell'area di Gorkha, un progetto di cui sono stato partecipe grazie alla collaborazione con la ONG CORD e che nel caso specifico è stato gestito da

due ingegneri della NCPDPD specializzati in questo tipo di attività (paragrafo 4.2.1).

Indagini sulla disponibilità e qualità dei materiali e sulle tecniche costruttive disponibili grazie agli incontri e alla ricerca diretta sul territorio con le realtà Conscious Impact e ABARI e al tirocinio svolto presso la ONG CORD (paragrafi 4.2.2, 4.2.3, 4.2.4 e capitolo 5).

3.1 BREVE STORIA E CONTESTUALIZZAZIONE

Come accennato nel primo capitolo, l'apertura dei paesi occidentali nei confronti della canapa e le ricerche che ne sono seguite riguardo i suoi possibili utilizzi in molteplici settori, ha stimolato un rinnovo dell'interesse riguardo agli usi di questa pianta anche in Nepal, dove comunque non è mai sparita totalmente, visto il suo legame ancestrale con la cultura Nepalese. Il dibattito riguardo questo tema nel paese è molto attuale ed è in atto uno sviluppo dei processi legati a questo settore produttivo, portati avanti in un'ottica di sostenibilità economica e sociale. L'ambiguità legislativa che riguarda la materia limita la libertà di azione dei soggetti promotori dello sviluppo di una filiera della canapa. Il problema sorge soprattutto dal punto di vista della coltivazione della pianta su larga scala, aspetto che per il momento è compensato dalla grande presenza di piante selvatiche, ma che risulta comunque essere un ostacolo nella creazione di un processo virtuoso in grado di dare un contributo importante all'economia di un paese in via di sviluppo (tra i dieci paesi più poveri al mondo) come il Nepal. Fino al 2015 l'attenzione per questo materiale era riservata al suo utilizzo come materiale tessile, cosmetico, alimentare e medico, l'interesse per il suo uso in edilizia è cresciuto improvvisamente in seguito al devastante terremoto dell'aprile 2015 che ha distrutto più di mezzo milione di case generando, una volta superata l'emergenza, un ingente bisogno di materiale edilizio per procedere alla ricostruzione.

Proprio nel 2015 nasce SHIV una realtà imprenditoriale che ha come obiettivo quello di fare ricerca e creare dei modelli di sviluppo sostenibile, basati sullo sfruttamento della canapa in tutte le sue possibili declinazioni; SHIV inizia la sua attività dando vita a delle sperimentazioni riguardo l'utilizzo della canapa in edilizia, portando avanti contemporaneamente sia gli aspetti legati all'approvvigionamento e trasformazione delle materie prime, sia quelli legati a tematiche prettamente costruttive. Tali tematiche comprendono, cosa che in un paese come il Nepal

non è assolutamente scontata, la disponibilità e reperibilità o in alternativa la produzione artigianale degli attrezzi necessari.

In questo percorso le ricerche e le sperimentazioni portate avanti dai fondatori e dai membri dell'organizzazione, sono coadiuvate da alcuni tra i maggiori esperti del settore, che si sono recati in Nepal per alcuni periodi di formazione e supervisione del lavoro svolto; tra questi vale la pena di ricordare Steve Allin, pioniere delle costruzioni in canapulo e calce e presidente dell'International Hemp Building Association, che ha guidato le sperimentazioni nel primo cantiere di SHIV, operando dei primi test sul materiale e su differenti miscele. Ha fornito inoltre una formazione sui principi base delle costruzioni in canapulo e calce ai componenti dell'azienda. Laurent Goudet altro pioniere delle costruzioni in canapa, che ha partecipato alla redazione delle Regole Professionali di come costruire in canapa francesi con l'associazione Construire en Chanvre, ha diretto i lavori di un altro cantiere sperimentale di costruzione di un'abitazione per una famiglia di bisognosi nel sud del Nepal, ha dato importanti indicazioni su come sfruttare al meglio i materiali localmente disponibili (argilla) e ha contribuito a istruire i lavoratori locali su come mantenere e apportare modifiche ai mezzi meccanici utilizzati.

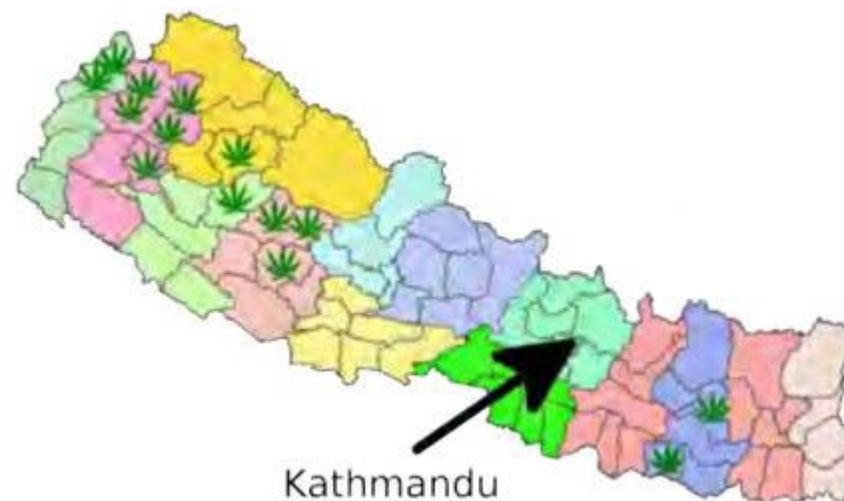


Fig 3.2 I distretti in cui viene maggiormente raccolta e lavorata la canapa in Nepal

3.2 PRODUZIONE

3.2.1 LA CANAPA

Come detto in precedenza la canapa disponibile sul territorio nepalese non viene coltivata a causa delle leggi che lo vietano e il rischio di distruzione dei raccolti che ne consegue. Nonostante ciò cresce abbondantemente in modo spontaneo diffusamente in tutto il paese fino ad un'altitudine di 4000 m, quindi anche in aree dove pochissime altre colture sono in grado di prosperare; questo aspetto è particolarmente importante, infatti nel momento in cui venisse concessa la coltivazione della canapa, in un paese con delle caratteristiche geomorfologiche così estreme e dotato quindi di superfici coltivabili limitate (solo il 30% del territorio è coltivabile), permetterebbe di sfruttare aree attualmente improduttive in cui è di fatto impossibile coltivare qualcosa di diverso dalla canapa.

Il lavoro di raccolta e sfruttamento della canapa spontanea è attualmente concentrato nelle regioni montane ("Colline Nepalesi" 700- 4.000m slm) del medio occidente ed estremo occidente del paese, e in minor misura nel terai e nella zona montana della regione orientale; tali aree sono tradizionalmente molto povere ed isolate, in cui la canapa rappresenta in molti casi l'unica fonte di reddito ma anche di sostentamento in quanto utilizzata per la produzione di beni (corde, tessuti, carta) ed alimenti (semi e olio) fondamentali per la sopravvivenza. Il processo di decorticazione degli steli di canapa qui viene ancora eseguito manualmente con le tecniche tradizionali che prevedono la macerazione in acqua degli steli, per le esigenze contemporanee questo processo non consente di ottenere un prodotto sufficientemente di qualità per avere mercato sia dal punto di vista delle fibre che da quello del canapulo che è preferibile mantenere asciutto una volta essiccato. SHIV che in attesa delle normative che le permettano di coltivare la materia prima in luoghi adiacenti a dove si è scelto di costruire, si rifornisce in questi luoghi, acquista gli steli essiccati per processarli autonomamente con un decortificatore portatile

di produzione cinese dotato di rulli dentellati attraverso i quali si inseriscono manualmente una certa quantità di steli (in base allo spessore cambierà la quantità) che operano la decorticatura e allo stesso tempo sminuzzano il canapulo rendendolo utilizzabile per il getto in canapulo e calce. Si tratta di un macchinario piuttosto semplice, azionato da un motore diesel da 15 cavalli e facilmente trasportabile con un pick-up. La qualità del materiale non è comparabile con quello prodotto dai grandi impianti industriali presenti in Europa né in termini di pulizia né in termini di uniformità della pezzatura del canapulo che risulta comunque adatto allo scopo per cui è prodotto, SHIV sta progettando delle modifiche per migliorare il decortificatore perché sia in grado di restituire un canapulo con un più alto grado di pulizia ed eventualmente di dotarsi di un chippatore per assottigliare le pezzature del canapulo; ad oggi visto lo stato embrionale della tecnologia e il risultato soddisfacente delle prime sperimentazioni, non si è riscontrata urgenza nel dotarsi di un chippatore, esigenza che sarà necessaria dal momento in cui si vorrà elevare la qualità e la standardizzazione del materiale.



Fig 3.3 Decortificatore dei fusti di canapa portatile (SHIV)

3.2.2 LA CALCE

L'approvvigionamento di calce attualmente risulta probabilmente l'aspetto più critico per la diffusione della tecnologia in canapulo e calce in territorio Nepalese. Esistono diverse testimonianze di una produzione di calce in passato con diverse calchere (forni da calce) in pietra sparse per il territorio ed oggi in disuso. La produzione è cessata ovunque, verosimilmente per la scarsità di legna che veniva usata come combustibile per alimentare i forni e per la difficoltà a trasportare il prodotto perchè potesse essere venduto vista l'assenza di infrastrutture adeguate in gran parte del paese.

La legna è iniziata a scarseggiare in seguito all'aumento dei prezzi dei combustibili fossili e al suo uso in sostituzione di questi ultimi; alla deforestazione dettata dall'esigenza di avere terreni coltivabili, all'introduzione di norme per la tutela delle aree boschive. Tra i vari progetti che SHIV ha intenzione di sviluppare in futuro c'è quello di creare una filiera della calce che sfrutti energia rinnovabile per la sua produzione, si tratta però di un progetto molto ambizioso e per il quale non ci sono ad oggi le condizioni necessarie. La calce viene quindi importata dall'India; esistono delle aziende che la producono in aree poco distanti dal confine Nepalese, condizione che consente di ridurre i costi di trasporto in termini economici e ambientali. Il prodotto reperibile è di buona qualità, si trova calce idrata in polvere con percentuale di idrossido di calcio superiore al 90%. Per ridurre l'apporto di calce nella miscela, SHIV ha avviato delle sperimentazioni che consistono nel ridurre l'apporto di calce e aggiungere una componente anche consistente di terra cruda (argilla) nella miscela.

3.3 SPERIMENTAZIONI

3.3.1 LE MISCELE

Le sperimentazioni e i test eseguiti per individuare una miscela di canapulo e calce utilizzabile per un getto di tamponamento sono stati portati avanti con risorse, in termini di varietà e qualità di materiali disponibili, molto limitate rispetto a quelle disponibili in Europa. I test sono stati eseguiti per valutare il grado di essiccazione e l'integrità del materiale dopo un certo periodo di tempo; caratteristiche come l'isolamento termico e acustico non sono state valutate, in quanto non esiste alcun tipo di cultura in questo senso in Nepal, non vi è motivo quindi di valutare in modo scientifico parametri come la trasmittanza o la conducibilità termica del materiale, è già un grande risultato introdurre questi concetti e materiali in modo empirico. I test stessi di essiccazione e integrità, in assenza di strumentazione adeguata, sono stati eseguiti attraverso analisi visive e al tatto, possibili grazie alla supervisione di esperti del settore e alla loro esperienza. I campioni sono stati preparati con una miscela base che comprendeva in proporzione di peso 1:1 calce idrata (90% idrossido di calcio) e il canapulo, per poi variare le proporzioni e successivamente aggiungere polvere di mattoni o argilla o cemento al mix. In tabella sono riportati i risultati del test che hanno dimostrato che il mix 1:2 canapulo calce sia quello con il grado di essiccazione migliore mentre quello con il cemento presenta un'essiccazione più lunga e insoddisfacente rispetto a tutti gli altri mix. Dal punto di vista della coesione, i mix a maggioranza di calce hanno dato i risultati migliori e di poco inferiore è stata la prestazione di quello con il cemento; decisamente negativi sono risultati quelli con il 50% di contenuto (sempre in peso) di argilla o polvere di mattoni. I risultati sono espressi nella tabella Fig 3.4. Nelle prime sperimentazioni, a causa della scarsa conoscenza dei sistemi di miscelazione, la miscela è stata preparata manualmente da due operatori utilizzando un telo impermeabile su cui venivano sparsi

i componenti della miscela e rivoltati alzando alternativamente i lembi del telo. Solo successivamente e senza l'ausilio di esperti, è stata utilizzata una betoniera, senza seguire la procedura illustrata nel capitolo 2, è stata aggiunta una quantità di acqua eccessiva che ha aumentato la compattezza del materiale rendendolo probabilmente più rigido ma meno isolante e flessibile. SHIV ha quindi deciso di dotarsi di un miscelatore a braccio planetario che sta realizzando artigianalmente vista l'impossibilità di reperirlo in loco.



Tests	1	2	3	4	5	6
Composition	Shiv:1 Lime:1	Shiv:1 Lime:2	Shiv:1 Lime:1 BrickDust:1	Shiv:1 Lime:1 BrickDust:2	Shiv:1 Lime:1 Clay:2	Shiv:1 Lime:1 Cement:1

Fig 3.4 I risultati in termini di essiccazione e integrità dei campioni di materiale(SHIV)

3.3.2MESSA IN OPERA

Le prime sperimentazioni dell'utilizzo della miscela di canapulo e calce sono state realizzate nell'area di Janakpur, situata nella pianura alluvionale del Gange che si estende nella zona meridionale del paese ai confini con l'India. Questa è una zona il cui rischio sismico è molto basso e dove è stato quindi possibile sperimentare senza il rischio di scosse; si è lavorato comunque utilizzando strutture preesistenti in ferro molto semplici, a un piano e con coperture leggere in lamiera grecata.



Fig 3.6 La struttura prefabbricata pre-esistente, cantiere sperimentale a Janakpur, Nepal (SHIV)

3.3.2.1ELEMENTI DI COLLEGAMENTO STRUTTURA TAMPONAMENTO

Per collegare il muro di tamponamento alla struttura preesistente a pali e travi reticolari in ferro, è stata realizzata una struttura in bambù molto rudimentale, utilizzando i culmi di bambù riciclati da un vicino cantiere. Tali elementi vengono in genere utilizzati nelle costruzioni in Asia per puntellare i solai o come componenti per la realizzazione dei ponteggi. I culmi usati come montanti verticali sono stati ancorati al cordolo in cemento perimetrale e legati al trave in ferro superiore utilizzando della corda in fibra di juta, sono



Fig 3.6 Miscelazione con betoniera, cantiere sperimentale a Janakpur, Nepal (SHIV)



Fig 3.5 Miscelazione manuale, cantiere sperimentale a Janakpur, Nepal (SHIV)

stati inseriti degli elementi diagonali di irrigidimento, con funzione soprattutto di simulazione di un controvento di un eventuale struttura portante in bambù. I pali in ferro della struttura sono stati rivestiti da una cortina di mattoni, in primo luogo per proteggerli dal contatto con la miscela in canapulo e calce e quindi dalla corrosione, vista l'assenza di una vernice adatta a questo scopo, e per creare dei riferimenti riguardo lo spessore del muro.



Fig 3.8 Struttura in bambù di collegamento alla struttura principale, cantiere sperimentale a Janakpur, Nepal (SHIV)



Fig 3.9 Rivestimento in mattoni dei pilastri in ferro, cantiere sperimentale a Janakpur, Nepal (SHIV)

3.3.2.2 SISTEMI DI CASSERATURA

Il primo sistema di cassetta sperimentato è stato concepito con una sorta di cassetta a perdere, costituita da delle stuoie di bambù intrecciato, fissate mediante l'utilizzo della corda di juta alla struttura di collegamento in bambù, che in questo caso rimane a filo esterno della parete. Sul lato interno invece, dei casseri in pannelli di compensato, rinforzati da una listellatura longitudinale, sono stati messi in posizione e fissati tramite delle barre filettate trasversali imbullonate alla stuoia in bambù. Per tenere in posizione i casseri da una serie di distanziatori ricavati dagli steli più spessi della fornitura di canapa. In una seconda fase si è proceduto utilizzando solo i casseri mobili in compensato da entrambi i lati, tenuti insieme dalle stesse barre di cui sopra e ugualmente distanziati dagli elementi in canapa.



Fig 3.10 Sistema di cassetta, cantiere sperimentale a Janakpur, Nepal (SHIV)



Fig 3.11 Sistema di cassetta, cantiere sperimentale a Janakpur, Nepal (SHIV)



Fig 3.12 Sistema di cassetta, cantiere sperimentale a Janakpur, Nepal (SHIV)



Fig 3.13 Distanziatori in canapa, cantiere sperimentale a Janakpur, Nepal (SHIV)

3.3.2.3 FINITURA DELLE PARETI

Le pareti sono state finite con tre mani di intonaco in calce e sabbia in proporzione 1:2,5.

3.4 CRITICITÀ

L'individuazione delle criticità è stata possibile grazie all'osservazione diretta e alla partecipazione in prima persona alle attività di produzione e approvvigionamento dei materiali e di messa in opera in cantiere. In questo modo è stato possibile verificare in modo tangibile la disponibilità di attrezzature e materiale adeguati, il livello di preparazione degli operatori addetti al costruzione e la qualità della progettazione.

3.4.1 PRODUZIONE CANAPULO

Apportare le modifiche necessarie al macchinario utilizzato per decorticare gli steli di canapa in modo da ottenere un canapulo più pulito, con meno fibra residua. Dotarsi di un macchina in grado di chippare il canapulo per ottenere pezzature più uniformi e minute. Questi aspetti permetterebbero di creare un prodotto più uniforme e standardizzato e rendere quindi più agevole e rapida la diffusione delle tecnologie costruttiva in canapulo e calce. Si andrebbero infatti ad evitare quelle operazioni di test del materiale che, ad oggi, a causa della disomogeneità dello stesso, è necessario ripetere per ogni nuova costruzione.

3.4.2 SISTEMA STRUTTURALE

Individuare un sistema strutturale che si sposi al meglio con il tamponamento e gli altri elementi costruttivi in canapulo e calce e che allo stesso tempo sia costituito da materiali facilmente reperibili in Nepal e realizzabile con le tecnologie disponibili nel paese. I telai in legno tipici delle costruzioni in canapa realizzate in Europa risultano proibitivi da realizzare in Nepal a causa degli alti costi del legname dovuti alla sua scarsa disponibilità.

3.4.3 CASSERATURA

Sviluppare un sistema di cassetatura più efficiente e preciso, anche in relazione al sistema strutturale utilizzato con cui deve interagire. Il sistema di cassetatura deve avere caratteristiche di velocità/facilità di montaggio e precisione in quanto determina la corretta riuscita della geometria del muro. I sistemi sperimentati fino ad oggi sono risultati complicati da mantenere in posizione, in quanto non ancorati alla struttura e macchinosi nelle fasi di assemblaggio e disassemblaggio a causa della mancanza di attrezzi adeguati per agire sui sistemi imbullonati e alla scarsa qualità di quest'ultimi. Valutare la possibilità di dotarsi di un sistema più duraturo (tipo geopan o cassetri in metallo) e/o progettare un sistema autocostruibile con materiali locali se si valuta sia un'opzione percorribile. Valutare se conviene sviluppare un sistema di cassetatura svincolato dalla struttura principale.

3.4.4 ALTRI ELEMENTI COSTRUTTIVI

Sviluppare dei sistemi costruttivi compatibili col sistema strutturale individuato e le tecniche e abitudini dei costruttori nepalesi per realizzare gli elementi costruttivi fino ad ora non presi in considerazione:

Fondazioni: progettazione dello zoccolo per distanziare dal terreno il getto in canapulo e calce. Valutare la possibilità di eseguire il massetto del solaio in controterra in canapulo e calce in base ai sistemi di fondazione disponibili, alla loro possibile ventilazione al drenaggio e isolamento dal terreno.

Solai: Valutare l'utilità di un massetto in canapulo e calce in un solaio divisorio di una casa nepalese ed eventuale compatibilità di questo con il sistema strutturale e costruttivo scelto.

Copertura: progettare l'isolamento del tetto in canapulo e calce compatibilmente con il sistema strutturale scelto.

4 PANORAMICA SULL'EDILIZIA NEPALESE

Il Nepal, nonostante l'aumento esponenziale della popolazione urbana, con un tasso di crescita annuo tra i più alti al mondo che si attesta intorno al 7%, rimane comunque uno dei paesi, con la più alta percentuale di popolazione che vive in aree rurali, ad oggi circa l'81% secondo i dati del United Nations Population Division's World Urbanization Prospects; questi aspetti rispecchiano le caratteristiche di un paese in via di sviluppo tra i più poveri al mondo, che non sta però riuscendo a sfruttare il potenziale di crescita economica creato e delle aree urbane, né a gestirne lo sviluppo urbanistico in modo pianificato e controllato. Tale sviluppo sta avvenendo in modo disordinato a macchia d'olio, andando a creare aree residenziali in modo irregolare, che non riescono a soddisfare alcuno standard abitativo e di accessibilità e andando a generare una perdita incontrollata di suolo e un generale peggioramento delle condizioni di vita. La mancanza di infrastrutture e quindi di accessibilità e comunicazione tra le poche aree metropolitane e le aree rurali, esasperata dalla complessa topografia del paese e dalla disponibilità a intermittenza di energia elettrica sono elementi che contribuiscono a limitare lo sviluppo di attività economiche strutturate nelle aree urbane e e portano a una generale mancanza di organizzazione e controllo.

Nel delineare una panoramica sulle abitudini e le tradizioni costruttive Nepalesi è utile analizzare il loro sviluppo nell'arco del XX secolo e inizio del XXI secolo; in particolare in relazione ai principali terremoti che hanno afflitto il paese (1934, 1988, 2015), all'introduzione del cemento armato soprattutto nei centri urbani (1980) e all'approvazione da parte del governo delle prime normative in tema di costruzioni (1994, 2003, 2006).

La prima estensiva testimonianza sulle condizioni del patrimonio edilizio nepalese si trova nel libro "The great earthquake of Nepal" pubblicato nel 1934 dall'ufficiale dell'esercito Brahma Shamsar Jung Bahadur Rana che condusse di persona le indagini sui danni

del terremoto. Da questo report si evince una prevalenza di strutture in muratura di mattoni o pietra e malta di fango, con presenza di mattoni cotti o essiccati al sole prodotti in maniera artigianale. In una parte minoritaria degli edifici è riportata la presenza di telai in legno, di contenimento della muratura. Durante il terremoto le strutture in muratura hanno subito danni molto più ingenti rispetto alle strutture che presentavano telai in legno, sia per le loro qualità strutturali sia per il fatto che, soprattutto per quanto riguarda le murature in pietra, si trattava di case più antiche utilizzate da più di tre generazioni senza aver ricevuto alcuna manutenzione. Lo studio sul terremoto del 1988 del JSCE (Japanese Society of Civil Engineers) descrive una situazione pressoché identica a quella del 1934 con una presenza leggermente superiore di edifici dotati di una struttura lignea a supporto della muratura e la presenza dei primi edifici in cemento armato che riportarono danni nulli o irrilevanti, e ancora una maggioranza massiccia di edifici in muratura in pietra e malta di fango o adobe. Questi edifici hanno riportato i danni maggiori, e in particolar modo sono stati danneggiati gli edifici di questa tipologia sopravvissuti al precedente terremoto. A partire dagli anni '80 iniziarono a diffondersi le costruzioni in cemento armato specialmente nelle aree urbane, dove, dopo gli anni duemila divennero le strutture più comuni e utilizzate. Nelle aree rurali il cemento non ebbe questa diffusione e a tutt'oggi in queste zone sono predominanti strutture in pietra e malta di fango, adobe e/o con elementi strutturali lignei. Allo stesso modo il building code act approvato dal governo nel 1994 e l'inasprimento delle norme prima nel 2003 e successivamente nel 2006, hanno portato gradualmente a un rispetto delle normative nei centri urbani. Nonostante ciò il 70% degli edifici in cemento armato (10% del totale degli edifici nepalesi) risulta non ingegnerizzato poiché costruito prima di queste date, spesso direttamente dai proprietari con la supervisione di un contractor (sorta di impresario edile che procura manodopera e materiali da costruzione). Nelle aree rurali molto difficilmente vengono rispettati, sia per una mancanza di controllo, che per una diffusa ignoranza e mancanza delle risorse

per poter costruire rispettando le norme stesse.

Durante il terremoto del 2015 si sono palesati gli stessi problemi evidenziati per gli altri due grandi terremoti, in aggiunta agli enormi danni verificatisi nelle aree rurali, sono collassati o hanno subito danni ingenti, numerosi edifici di carattere urbano, in muratura o cemento armato, la maggior parte dei quali frutto dello sviluppo selvaggio delle aree urbane avvenuto negli ultimi decenni. I danni sono stati calcolati per circa 7 miliardi di dollari, almeno 500.000 case sono andate distrutte e altrettante hanno subito danni.

Vista l'impossibilità, a causa di una mancanza di risorse sia economiche che in termini di materiali e manodopera, di avviare una ricostruzione strutturata, nel rispetto della normativa sulle costruzioni, sono stati avviati diversi programmi per supportare la ricostruzione nei villaggi delle comunità rurali colpite. I programmi di ristrutturazione prevedono che: nel caso di comunità molto isolate e difficilmente raggiungibili con mezzi a motore, l'introduzione di dispositivi antisismici realizzabili con materiali a basso costo (filo di ferro zincato) o con materiali locali (legno, bambù) per rendere più sicure le costruzioni tradizionali in pietra e malta di fango e adobe; l'organizzazione di sessioni di formazione rivolte alla popolazione locale per trasmettere loro i principi base per realizzare delle abitazioni sicure. Nel caso di realtà più accessibili, l'introduzione di tecniche costruttive low-tech realizzabili per la quasi totalità con materiali locali e in autocostruzione dopo aver organizzato un'adeguata formazione. Le tecniche più diffuse sono: l'earthbag (costruzioni che si avvalgono dell'utilizzo di sacchi di plastica industriali riempiti di una miscela di argilla, sabbia, ghiaia e cemento quando necessario), strutture leggere in bambù con tamponamento in bambù intrecciato e terracuda, CSEB (blocchi in terra compressa e stabilizzati con calce o cemento), pisè (getto in terra compressa e quando necessario stabilizzata).



Fig 4.1 Villaggio terremotato, Gorkha, Nepal



Fig 4.2 Villaggio terremotato, Nepal (rms.com)



Fig 4.3 Villaggio terremotato, Gorkha, Nepal



Fig 4.4 Villaggio terremotato, Gorkha, Nepal



Fig 4.5 Villaggio terremotato, Gorkha, Nepal



Fig 4.6 Casa rurale tradizionale (wikimedia.com)

4.1 LA CASA RURALE TRADIZIONALE NEPALESE

Esistono diverse tipologie di abitazioni rurali tradizionali caratteristiche del Nepal che differiscono le une dalle altre in base alla differenziazione di destinazione d'uso di alcuni spazi, dalla diversa configurazione di uno stesso elemento architettonico, da piccole variazioni delle tecniche costruttive utilizzate in fase di messa in opera e in alcuni casi per le decorazioni utilizzate. È possibile comunque individuare un modello di base con una serie di caratteristiche comuni a tutte le varianti.

Il modello più antico da cui probabilmente derivano tutti gli altri consiste in un edificio a pianta ellittica, orientato in modo che l'asse longitudinale sia perpendicolare alla pendenza, a due piani con un'ampia veranda, posta in corrispondenza della curva parallela all'asse longitudinale della pianta; il tetto a doppia falda è raccordato alle due estremità con due falde semi-coniche. Questo modello, che come vedremo si è successivamente evoluto in uno a pianta rettangolare, per sfruttare al meglio gli spazi interni, garantiva probabilmente una maggior tenuta sia dal punto di vista termico che strutturale, ed era meno danneggiata dal vento, inoltre la linea di colmo ridotta garantiva probabilmente meno infiltrazioni. Nello spazio coperto della veranda venivano svolte le attività di cura personale, trasformazione dei cereali, con la presenza di appositi strumenti (trebbiatura, mondatura, essiccazione e macinazione), ma anche di accoglienza degli ospiti e sede delle cerimonie religiose. L'ambiente ovale al piano terra è diviso in tre aree da partizioni a mezz'altezza, in legno o terra cruda, utilizzate anche come scaffalature; la parte centrale/anteriore dell'area centrale, leggermente più ampia delle due laterali, è in genere ribassata di 20/30 centimetri e accoglie un braciere realizzato direttamente sul pavimento, in terra battuta e in pietre e terra stessa e costituisce una sorta di area comune; le due aree laterali in genere sono destinate una alla cucina con un secondo braciere e l'altra, unitamente all'area posteriore dell'area centrale, ai letti, costituiti da semplici tappeti e/o stuoie poggiati per terra. Sopra la cucina

attraverso una botola e mediante l'utilizzo di una scala intagliata su di un tronco d'albero, si accede al piano superiore, utilizzato per stoccare le provviste al sicuro dai topi.

Queste strutture venivano costruite mediante l'utilizzo di una muratura in pietra non squadrata e malta di argilla, per poi essere intonacate in terra cruda e calce. Il solaio intermedio è sorretto da travi in legno massiccio poste parallelamente all'asse longitudinale, le strutture del tetto e della veranda sono ugualmente costituite da elementi lignei e poi ricoperte di paglia per garantire riparo dall'acqua un minimo isolamento termico. Le uniche aperture, due per piano, si trovano sulla facciata esposta a valle sopra e sotto la veranda, in modo da captare un minimo di luce e calore, in base all'orientamento del pendio a sud sud-est/ovest.

L'evoluzione di questo modello, i cui ultimi esemplari risalgono alla fine del XIX secolo, ha portato al consolidamento della tipologia di abitazione a pianta rettangolare, diffusa ancora oggi. I motivi di questo cambiamento sono da imputare all'introduzione di mobili più sofisticati e ingombranti, difficilmente compatibili con murature curve e da un generale bisogno di spazi più ampi e indipendenti (stanze). Gli elementi in continuità col modello precedente costituiscono anche la base delle diverse varianti del modello attuale: i due piani fuori terra, la presenza della veranda (che in alcuni casi diventa una loggia), il tetto a falde inclinate e l'orientamento dell'asse longitudinale (in questo caso della pianta rettangolare) perpendicolare alla pendenza con le aperture sul lato esposto a valle.

Per quanto riguarda la disposizione degli spazi nel nuovo modello a pianta rettangolare, si possono individuare due schemi di riferimento: il primo, adottato da etnie e villaggi che basano il proprio sostentamento oltre che sull'agricoltura anche sull'allevamento, vede al piano terra tre ambienti, due dedicati a stalla per il bestiame e uno per le provviste e l'attrezzatura da lavoro; dalla stalla in genere si accede al piano superiore direttamente

nel soggiorno, dove si svolgono tutte le attività principali di una famiglia, intorno al bracere posto in mezzo alla stanza che funge sia da cucina che da riscaldamento nei mesi invernali; ai lati del salotto troviamo una o due stanze, che possono essere destinate a diverse funzioni: lavanderia, stanza da letto, stanza di preghiera. Il secondo modello vede al piano terra separati la cucina, il soggiorno e una stanza da letto o stanza di stoccaggio delle provviste e degli attrezzi agricoli e al piano superiore due o tre stanze da letto.

Anche l'area coperta antistante all'edificio è realizzata secondo due modelli principali: il primo ricalca la veranda delle prime case circolari, con una tettoia giustapposta al volume dell'edificio principale, in questo caso coperta da una lamiera grecata o da tegole in pietra così come la copertura; il secondo rimane invece all'interno dell'edificio, con un arretramento del muro perimetrale, a costituire una loggia chiusa sui lati corti dai muri perimetrali dell'abitazione; in questo caso si ha in genere una loggia aperta anche al piano superiore. Nella fascia himalayana, man mano che si sale verso altitudini più elevate l'elemento veranda/loggia è meno comune.

La muratura in pietra, in genere a sacco, con due cortine murarie di pietre allettate da malta di argilla e un riempimento centrale di argilla e pietrame leggermente compattato, in alcuni casi è lasciata a vista, in altri rivestita da un intonaco in terra cruda. Terra cruda che invece è quasi sempre presente all'interno dell'edificio così come sono rivestiti in terra i pavimenti. Il solaio del primo piano è sostenuto da una o più travi poste in corrispondenza dell'asse longitudinale della pianta rettangolare e dai muri perimetrali e tramezzi su cui poggia la trave stessa, la superficie calpestabile è costituita da un assito in legno o bambù. Il trave di colmo del tetto poggia su due muri laterali e su di un elemento lineare in legno al centro o al muro divisorio, sul trave di colmo si innestano i travetti sui quali sono fissate le lastre di lamiera grecata o più raramente una listellatura in legno a supporto delle tegole in pietra.

Le aperture sono poste unicamente sulla facciata esposta a valle, in

genere una finestra per stanza di modeste dimensioni, nella parte anteriore dei muri laterali è spesso presente un piccola apertura.



Fig 4.7 Casa rurale tradizionale a forma circolare (johntyman.com)



Fig 4.8 Veranda di una casa rurale tradizionale a forma circolare (johntyman.com)

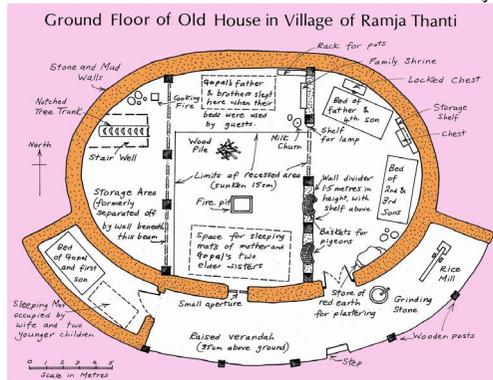


Fig 4.9 Pianta di una casa rurale tradizionale a forma circolare (johntyman.com)

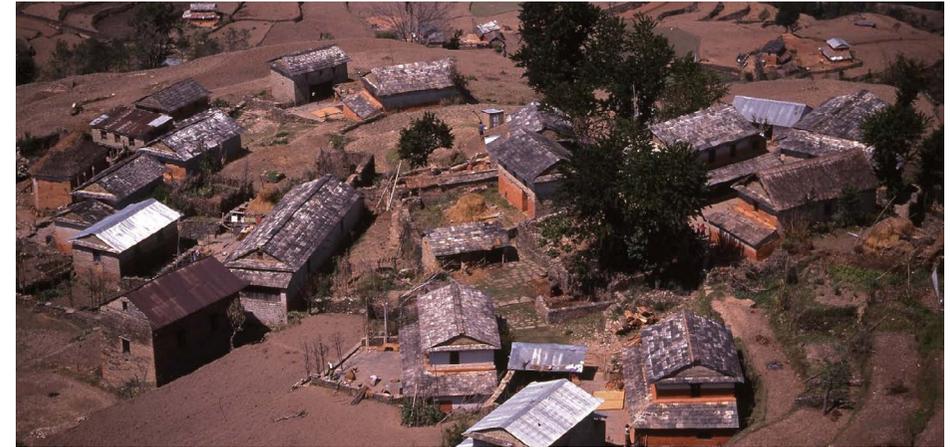


Fig 4.10 Villaggio rurale, Gurung, Ramja, Nepal (johntyman.com)



Fig 4.11 Casa rurale tradizionale nepalese (johntyman.com)



Fig 4.12 Costruzione di una muratura in pietra a sacco di Casa rurale tradizionale nepalese (johntyman.com)

4.2 TECNICHE COSTRUTTIVE PIÙ DIFFUSE

In questo capitolo si andranno ad analizzare gli elementi costruttivi principali (fondazioni, murature, solai, coperture) di una serie di tecniche costruttive messe a punto da diverse ONG Nepalesi o internazionali, per la ricostruzione delle case in aree rurali (95% degli edifici distrutti), considerando sia quelle che prevedono il miglioramento delle tecniche costruttive tradizionali, sia tecniche introdotte in nepal solo di recente, studiate per massimizzare l'utilizzo di materiali reperibili localmente. Quest'analisi, frutto di un'esperienza diretta di collaborazione con gli enti che hanno sviluppato queste metodologie, è finalizzata ad individuare gli elementi e/o le tecniche costruttive più adatte ad essere utilizzate in combinazione con la miscela di canapulo e calce.

4.2.1 CASE TRADIZIONALI IN PIETRA NON SQUADRATA



Fig 4.13 Vista di casa in pietra con muratura confinata da gabbioni in filo di ferro
(Design Catalogue vol ii)

Fondazioni

Si tratta di una fondazione superficiale continua a gradoni (riseghe), posta in corrispondenza dei muri perimetrali portanti e con due elementi trasversali alla pianta longitudinale dell'edificio, verso all'interno della stessa, posti in asse con il pilastro centrale. Viene realizzato uno scavo di almeno 75 cm di profondità o comunque sufficiente ad arrivare allo strato inerte del suolo, avendo cura non vi sia presenza di acqua libera, dai 75 ai 90 cm di larghezza in base alla tipologia di suolo. Si procede quindi alla compattazione del terreno di fondo dello scavo con un mazzera manuale; è molto importante verificare il corretto livellamento del terreno in questa fase. Viene quindi realizzato un primo ricorso con funzione di basamento, che copre tutta la larghezza dello scavo per un'altezza variabile tra i 15 e i 22 cm. Si procede quindi con la muratura in pietra e malta di argilla a realizzare due gradoni di altezza uguale, a scalare in profondità progressivamente minore, avendo cura di verificare il piombo e il livellamento di ogni ricorso, e di posare le pietre con la lunghezza posta trasversalmente alla direzione del muro, per rompere la continuità dei giunti tra le varie pietre ed evitare la creazione di due filari separati verticalmente. In corrispondenza della superficie superiore del primo e secondo gradone, vanno inseriti degli elementi di collegamento trasversali costituiti da due fili di alluminio intrecciato, che verranno in seguito collegati agli elementi di contenimento verticali sempre costituiti da filo di alluminio (per la porzione di cavo che rimane sotto terra, altrimenti si usa un filo di ferro zincato). Al di sopra del secondo gradone viene realizzato uno zoccolo di circa 40 cm, profondo quanto il muro, che rimane all'esterno fuori terra mentre all'interno determina il livello del pavimento. Al di sopra dello zoccolo di fondazione viene realizzata la prima fascia di contenimento della muratura, un dispositivo che consiste nel posare, lungo tutto il suo perimetro, una fascia di rete elettrosaldata (31x31mm) larga 35cm, in modo da rimanere interna allo spessore del muro (45cm); al di sotto della rete vengono posti

gli elementi trasversali di collegamento al cavo di contenimento esterno, come in precedenza, in modo da creare una vera e propria gabbia di contenimento della muratura. Agli angoli per rinforzare la fascia di rete elettro-saldata e dargli continuità, vengono inserite delle porzioni di rete in diagonale giustapposte alle due fasce di rete perpendicolari.



Fig 4.13 Buone pratiche del costruire una muratura in pietra non squadrata, giunti non continui (Manuale NCPDP)



Fig 4.14 Buone pratiche del costruire una muratura in pietra non squadrata, pietra che copre tutto lo spessore del muro per spezzare maggiormente i giunti (Manuale NCPDP)



Fig 4.15 Buone pratiche del costruire una muratura in pietra non squadrata, compattazione suolo di fondazione con mazzeranga (Manuale NCPDP)



Fig 4.16 Buone pratiche del costruire una muratura in pietra non squadrata, soluzione d'angolo fondazioni (Manuale NCPDP)



Fig 4.17 Buone pratiche del costruire una muratura in pietra non squadrata, giunti non continui (Manuale NCPDP)



Fig 4.18 Buone pratiche del costruire una muratura in pietra non squadrata, riempimento dei vuoti (Manuale NCPDP)

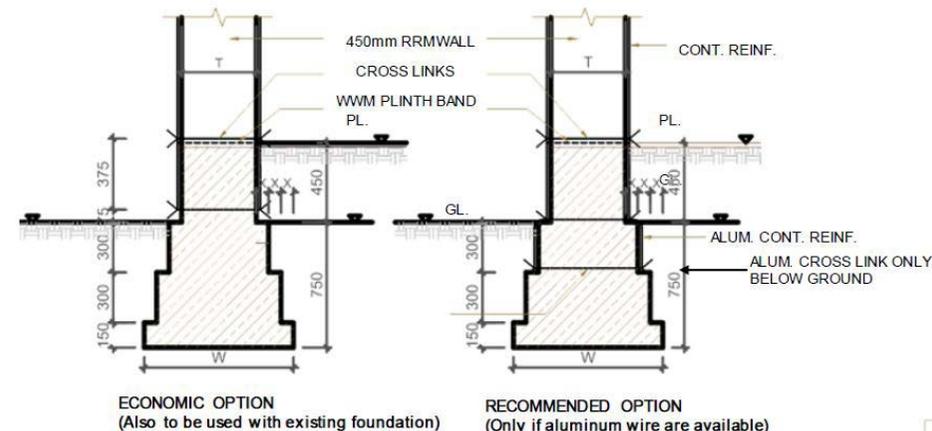


Fig 4.19 Sezione delle fondazioni di una casa in pietra con muratura confinata da gabbioni in filo di ferro (Design Catalogue vol ii)

Muratura

I muri vengono realizzati con la tecnica descritta in precedenza per la realizzazione dello zoccolo, prestando attenzione a interlacciare le pietre costituenti la muratura, ad inserire una pietra che copra interamente lo spessore del muro ogni 1,5 m circa e a non lasciare vuoti di alcun tipo; negli angoli vanno inserite pietre di dimensioni maggiori, allineate con il lato lungo al muro e alternate per creare una sorta di incastro a pettine con quelle del muro perpendicolare a cui si giustappengono; le fasce di contenimento di rete elettro-saldata vanno inserite ogni 75 cm e in corrispondenza degli architravi di porte e finestre che vanno quindi posizionati tutti allo stesso livello. All'altezza del solaio/i interpiano si realizza un cordolo costituito da elementi lignei che corrono paralleli ai due bordi del muro e sono collegati trasversalmente da elementi sempre lignei posti in corrispondenza delle connessioni trasversali del sistema di contenimento e collegate a queste che devono essere allineate a piombo le une alle altre in modo che le linee di contenimento sulla superficie esterna ed interna del muro siano parallele fra di loro. Oltre alle linee verticali, sulle superfici del muro, vengono realizzati anche dei collegamenti in diagonale a x tra gli elementi di collegamento trasversale delle fasce 2-4 e tra quella di colmo e la terzultima.

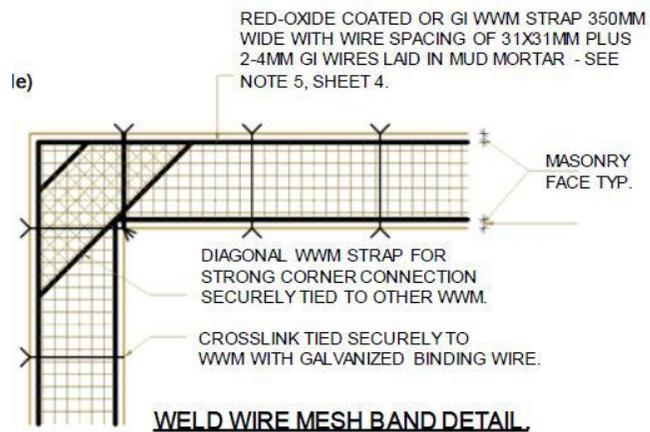


Fig 4.20 Dettaglio costruttivo delle fasce di contenimento in rete metallica di una casa in pietra con muratura confinata da gabbioni in filo di ferro (Design Catalogue vol ii)



Fig 4.21 Posa delle fasce di contenimento in rete metallica di una casa in pietra con muratura confinata da gabbioni in filo di ferro, cantiere di training, Gorkha, Nepal



Fig 4.22-23 Dettagli delle fasce di contenimento in rete metallica e degli elementi di collegamento trasversale di una casa in pietra con muratura confinata da gabbioni in filo di ferro, cantiere di training, Gorkha, Nepal



Fig 4.24 Dettaglio soluzione d'angolo delle fasce di contenimento in rete metallica di una casa in pietra con muratura confinata da gabbioni in filo di ferro, cantiere di training, Gorkha, Nepal



Fig 4.25 Elementi di collegamento verticali dei gabbioni di contenimento in rete metallica di una casa in pietra con muratura confinata da gabbioni in filo di ferro (manuale NCPDP)

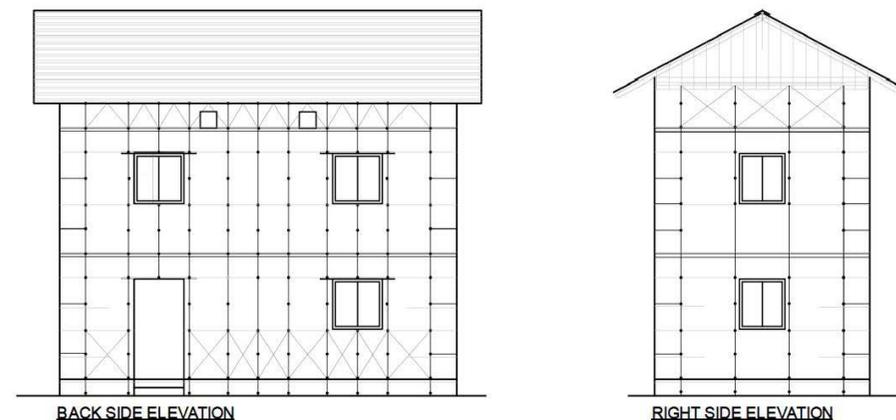


Fig 4.26 Prospetti di una casa in pietra con muratura confinata da gabbioni in filo di ferro (Design Catalogue vol ii)

Solai interpiano

I solai interpiano è formato da un orditura di travetti di legno che poggiano sui cordoli delle pareti laterali longitudinali e in mezzeria su un trave sostenuto dai due muri laterali e da un pilastro il legno. I travetti vengono fissati ai cordoli e alla trave mediante l'utilizzo di fasce metalliche inchiodate ai due elementi. Il pavimento è costituito da un assito in legno che può, in base alla sua qualità dello stesso, venire rivestito da uno strato di terra cruda.



Fig 4.27-28 Dettagli montaggio solaio in una casa in pietra con muratura confinata da gabbioni in filo di ferro (Manuale NCPDP)

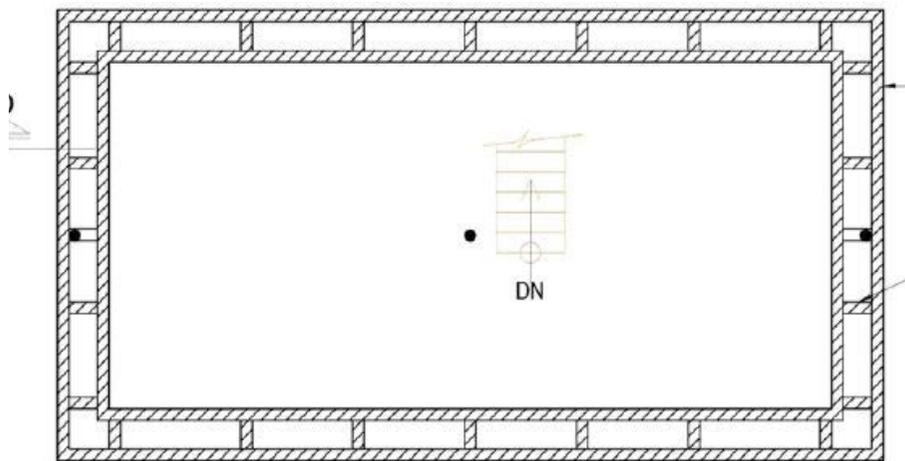


Fig 4.29 Pianta del cordolo del piano intermedio di una casa in pietra con muratura confinata da gabbioni in filo di ferro (Design Catalogue vol ii)

Copertura

La struttura è costituita da una trave di colmo che poggia su tre pilastri realizzati in mezzeria dei due muri laterali e in corrispondenza del pilastro centrale a sostegno dei solai sottostanti. Il pilastro centrale è irrigidito da due bracci diagonali che si collegano al trave soprastante e da un cordolo che a differenza di quelli dei solai interpiano presenta una sola banchina, che corre a filo esterno della superficie superiore del muro e a cui sono fissati i listelli di collegamento al sistema di contenimento della muratura. Agli angoli vi sono degli elementi diagonali di collegamento degli elementi perpendicolari che costituiscono il cordolo. I travetti a sostegno del tetto vengono poggiati sulla trave di colmo e in basso sul cordolo e fissati con le fasce metalliche, e allo stesso modo vengono fissati ai travetti i listelli trasversali. All'orditura di listelli trasversali vengono ancorate con appositi ganci a U le due falde di copertura costituite da una lastra di lamiera grecata; una fascia di lamiera, opportunamente piegata, funge da piastra di colmo per evitare infiltrazioni d'acqua. Il vuoto dei timpani laterali viene chiuso con assi di legno o lastre di lamiera grecata. Per irrigidire la struttura del tetto piano del cordolo sommitale viene realizzato un diaframma montando una serie di cavi di filo di ferro diagonali e tensionati manualmente a formare una serie di croci di sant'Andrea.

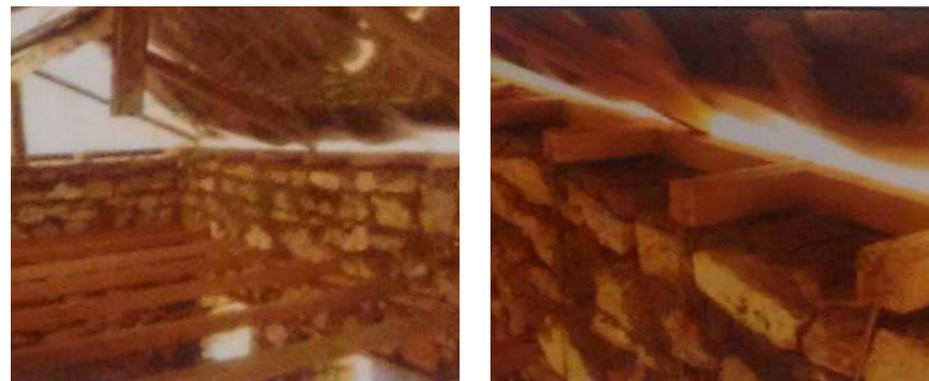


Fig 4.30-31 Dettagli montaggio copertura in una casa in pietra con muratura confinata da gabbioni in filo di ferro (Manuale NCPDP)

4.2.2 EARTHBAG



Fig 4.32 Costruzione di una casa in earthbag, Nepal (buildabroad.org)

Fondazioni

Si tratta di una fondazione superficiale continua, posta in corrispondenza dei muri perimetrali dell'edificio, che in pianta presentano la peculiarità di formare delle croci, con i lati che proseguono oltre il volume dell'edificio a formare una sorta di contrafforti; questo accade sia agli angoli della pianta, sia in corrispondenza della partizione interna con due elementi che si innestano esternamente e perpendicolarmente al lato lungo dell'edificio in corrispondenza di quest'ultima.

Viene realizzato uno scavo di circa 120 cm, o comunque della profondità necessaria per raggiungere lo strato inerte del suolo e di larghezza 20 centimetri+la profondità dei sacchi di propilene utilizzati. Lo scavo viene quindi rivestito da un geotessuto filtrante (tessuto non tessuto) in grado di drenare l'acqua ma non permettere il passaggio di sedimenti e materia organica, per evitare le infiltrazioni di quest'ultime nella fondazione. Si posa un tubo drenante al centro dello scavo e longitudinalmente ad esso. Lo

scavo viene quindi riempito per circa 90 cm di pietrisco di medie medie dimensioni che viene compattato il più possibile, livellato e completamente avvolto dal geo tessuto. Si procede quindi posando tre filari di sacchi industriali di propilene riempiti con della ghiaia tra i quali si posa un circuito chiuso di filo spinato, finalizzato a evitare scivolamenti tra i sacchi. Il primo sacco risulterà ancora sotto la linea di terra mentre i secondi risulteranno in superficie; all'interno del perimetro che si è così venuto a creare viene posato uno strato di pietrisco, e successivamente il pavimento in terra cruda.

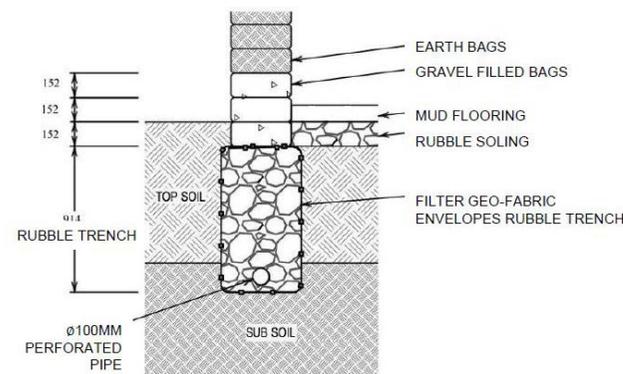


Fig 4.33 Sezione e posa tubo di areazione delle fondazioni di una casa in earthbag (DG vol ii)

Muratura

La muratura degli earthbag è costituita da sacchi industriali in propilene (sacchi utilizzati in tutto il mondo per il trasporto merci) che vengono riempiti da una miscela di argilla, ghiaia e sabbia e in alcuni casi stabilizzate con cemento, se le qualità del suolo disponibile lo richiede. I sacchi così riempiti vengono posati come se fossero mattoni in filari sfalsati, un circuito di filo spinato posto in due file parallele al di sopra di ogni filare impedisce ai sacchi di scivolare l'uno sull'altro. In fase di posa viene usata una lastra metallica su cui si poggia il sacco per metterlo agevolmente in posizione senza che questo si incastri sul filo spinato sottostante. La lastra metallica viene sfilata una volta che il sacco è stato posizionato correttamente. In seguito alla realizzazione di ogni filare si procede al compattamento e livellamento dello stesso e alla correzione di

eventuali rigonfiamenti mediante l'uso di una mazzeranga. I telai lignei di porte e finestre vengono dotati di staffe metalliche che vengono ammorsate tra i due filari di earthbag corrispondenti. Delle barre d'acciaio vengono battute verticalmente all'interno dei sacchi in corrispondenza degli architravi. Il cordolo sommitale del muro è realizzato in cemento armato ed ancorato al muro tramite tondini di metallo infilati verticalmente nella muratura in sacchi. Il muro viene infine rivestito da una rete plastica o metallica a supporto dell'intonaco che potrà essere eseguito in terra cruda e opportunamente impermeabilizzato (con cera, oli, sapone ecc) o se disponibile a base di calce.



Fig 4.34 Setacciatura (DG vol ii)



Fig 4.35 Posa dei sacchi di earthbag (DG vol ii)



Fig 4.36-37-38 Compattazione e posa filo spinato (DG vol ii)



Fig 4.39-40 Installazione tondini metallici di rinforzo verticale e rete metallica porta intonaco (DG vol ii)



Fig 4.41 Cordolo superiore in cemento armato (DG vol ii)

Solai interpiano

Le strutture in earthbag progettate per la ricostruzione prevedono edifici che si sviluppano su un solo livello non vi è quindi la necessità di realizzare il solaio interpiano.

Copertura

La copertura è realizzata da capriate semplici costituite da catena, puntoni, monaco e contraffissi e da un orditura secondaria perpendicolare ai puntoni sulla quale viene applicato il rivestimento leggero in lamiera grecata e la relativa piastra di colmo.

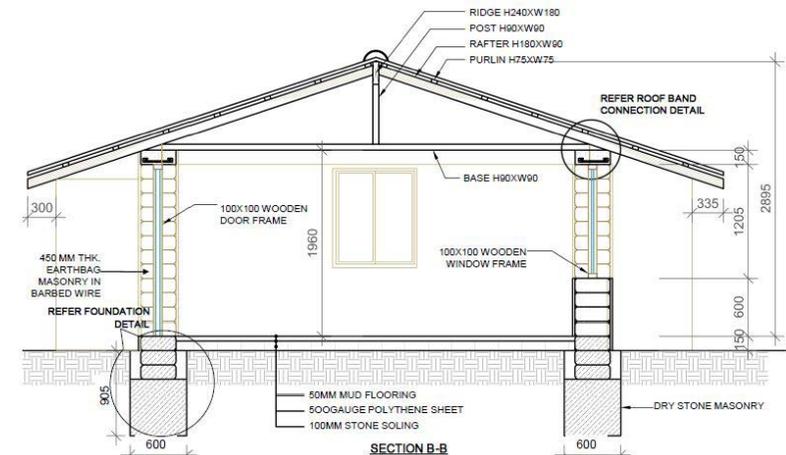


Fig 4.42 Sezione trasversale casain earthbag (DG vol ii)

4.2.3 CSEB-BLOCCHI IN TERRA COMPRESSA STABILIZZATI



Fig 4.43 Produzione blocchi in terra compressa (conscious impact.org)

Fondazioni

Fondazioni in terra compressa stabilizzata: fondazione superficiale continua, segue la proiezione in pianta delle pareti portanti, in corrispondenza degli elementi di contenimento verticale della muratura lo scavo è leggermente più largo e profondo. Viene realizzato uno scavo di circa 70 cm di profondità o più se si rende necessario a raggiungere lo strato inerte del sottosuolo e 75 cm circa di larghezza. Si prepara la miscela di terra di scavo, sabbia (25-30% ma dipende dalla terra di scavo disponibile; il composto non dev essere troppo argilloso per evitare ritiri) e circa il 5% di cemento e acqua. La miscela va versata e compattata mediante l'uso della mazzeranga entro 20 minuti dalla sua preparazione. Vanno versati nello scavo 15 cm di materiale alla volta e una volta compressi fino ad un altezza di 10 cm si può procedere con lo strato successivo. Questo tipo di fondazione è adatta solo a terreni asciutti e richiede una grande quantità di manodopera; in compenso è molto economica dal punto di vista dei materiali. Fondazioni in pietra con malta in terra stabilizzata: fondazione

superficiale continua, segue la proiezione in pianta delle pareti perimetrali. Viene realizzato uno scavo di circa 70 cm di profondità o più se necessario a raggiungere lo strato inerte del sottosuolo e 75 cm circa di larghezza. Vengono posate le pietre più grosse sul fondo dello scavo lasciando meno vuoti possibili tra loro, viene versata la malta in proporzioni cemento, sabbia, terra di scavo 1:3:8, viene compattata e distribuita per ricoprire interamente lo strato di pietre e si prosegue così fino al raggiungimento della linea di terra. Questo metodo è adatto anche a terreni umidi e richiede meno manodopera; risulta adatto solo in aree dove vi è disponibilità di pietre e risulta leggermente meno stabile del precedente. Basamento: il basamento viene eseguito in modo uguale in entrambe le tipologie di fondazione. Una trave continua in cemento armato viene gettata all'interno dello strato superficiale della fondazione e su questa vengono innestati gli elementi verticali di contenimento della muratura che consistono in dei tondini metallici da 10mm. Viene realizzato un basamento in blocchi compressi stabilizzati di tre filari. Il terzo blocco ha una particolare forma concava a U sulla superficie superiore (è semi-cavo) al cui interno viene gettata un'altra trave continua in cemento armato, raccordata a quella di fondazione dai tondini verticali, attorno ai quali vengono posati blocchi dotati di un apposito scasso.

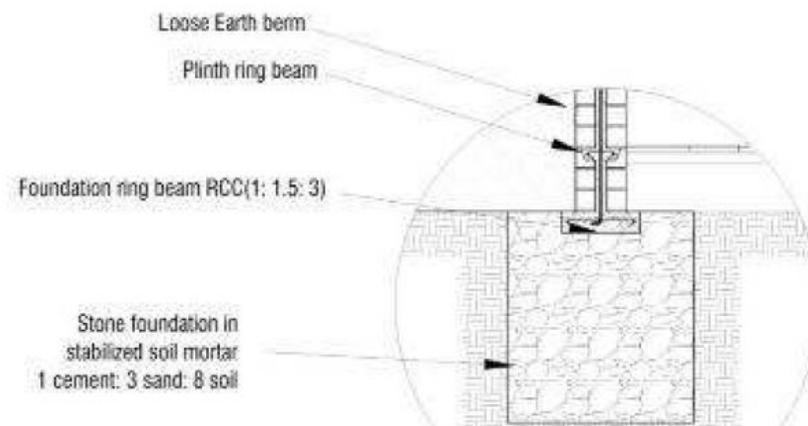


Fig 4.44 Sezione delle fondazioni di un edificio in CSEB (CSEB manual, Cord)



Fig 4.45-46 Scavo e compattazione suolo di fondazione (CSEB manual,Cord)



Fig 4.46-47 Realizzazione zoccolo e cordolo di fondazione (CSEB manual,Cord)



Fig 4.47-48 Realizzazione cordolo di fondazione (CSEB manual,Cord)



Muratura

La tecnica costruttiva dell'apparecchio murario è una muratura rinforzata costituita da blocchi di terra compressa e stabilizzata, i blocchi possono essere prodotti in molte diverse dimensioni in base allo stampo utilizzato, nel caso preso in esame i blocchi utilizzati misurano 24x24x9. La preparazione dei blocchi prevede le seguenti fasi: essiccazione e polverizzazione della terra di scavo, selezione mediante l'uso di un setaccio a schermo, messa a punto della miscela: scelta delle proporzioni di terra, sabbia, cemento (in genere tra il 5-8%) e acqua che variano in base alla qualità della terra di partenza, miscelazione manuale o meccanica, produzione del blocco con apposita pressa, stagionatura dei blocchi che dura minimo 3 settimane e durante le quali bisogna assicurarsi che i blocchi rimangano in un ambiente umido e rimangano idratati (tramite l'uso di teli di plastica, o materiale vegetale con cui coprirli). La parte sopra il livello del basamento in cui si prevede l'utilizzo di una malta cementizia adattivata con sostanze idrorepellenti, per il resto della costruzione viene usata una malta di terra stabilizzata in proporzioni cemento, terra di scavo, sabbia 1:1:3, che deve avere una consistenza plastica e non troppo liquida e contenere una percentuale di argilla di massimo il 20-25%. Lo strato di malta tra i blocchi sia verticale che orizzontale dev'essere di circa 5mm, una volta posato il blocco. Gli elementi di contenimento verticali sono posizionati ogni 1,5 m, quelli orizzontali in cemento armato vengono gettati all'interno dei blocchi concavi come per il basamento e si trovano a livello dei davanzali e degli architravi delle aperture e in sommità del muro. I blocchi vengono posati come dei normali mattoni in laterizio e vanno bagnati prima di essere messi in opera.



Fig 4.49 Stoccaggio blocchi (consciousimpact)



Fig 4.50 Muratura in CSEB(CSEB manual,Cord)



Fig 4.51-52 Cordolo intermedio di contenimento e montaggio telai aperture(CSEB manual,Cord)



Fig 4.53 Muratura in CSEB(CSEB manual,Cord)

Solai interpiano

Il solaio interpiano è sostenuto da un orditura di travetti sostenuti dai muri perimetrali all'altezza del cordolo in cemento armato, da un muro divisorio portante realizzato con la stessa tecnica di quelli perimetrali e/o da uno o più travi in legno. I travetti vengono uniti fra di loro mediante l'utilizzo di filo di ferro zincato e bloccati all'elemento portante inferiore con delle apposite "chiavi"(cunei) in legno da inserire nei fori, predisposti in precedenza, ad attraversare verticalmente il travetto in modo da ammorsare anteriormente e posteriormente l'elemento inferiore. Al di sopra dei travetti vengono posati dei bambù tagliati a metà per lungo (diametro 75mm) e posati con il lato piano rivolto verso i travetti in modo da formare una sorta di tavolato ondulato; al di sopra di questi viene posato un telo in propilene e realizzato quindi un pavimento in terra cruda (75mm).

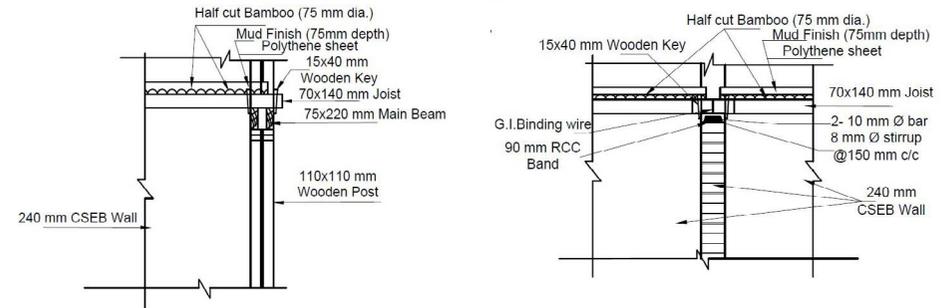


Fig 4.55-56 Dettagli costruttivi solaio (CSEB manual,Cord)

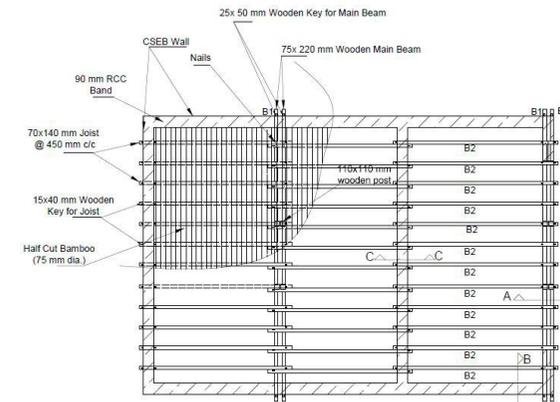


Fig 4.57 Pianta solaio (CSEB manual,Cord)

Copertura

La copertura a doppia falda, è realizzata con dei puntoni sostenuti da un sistema di due pilastri e un trave (unione con chiodi), dal cordolo in cemento armato perimetrale (unione in fil di ferro, e sistema ad incastro descritto in precedenza) e da un trave di colmo poggiato sui muri laterali. Al di sotto dei puntoni è fissato un assito di listelli in bambù a sostegno di un materassino isolante che consiste in un sandwich composto da due stuoie di bambù che racchiudono due strati uno di paglia e uno di paglia e terra; al di sopra di questo materassino, per colmare lo spessore del puntone, può essere inserito un isolamento leggero, come ad esempio della cenere in sacchi di plastica. Al di sopra del puntone sono fissati dei traversi in bambù tagliato a metà sopra i quali la sstratigrafi procede con uno strato in stuoia di bambù e un tessuto idrorepellente, sopra il quale viene posizionata una rete metllica e viene gettato un sottile strato di malta in terra stabilizzata pronta ricevere le tegole in terra compressa e stabilizzata prodotte alla stessa maniera dei blocchi della muratura.

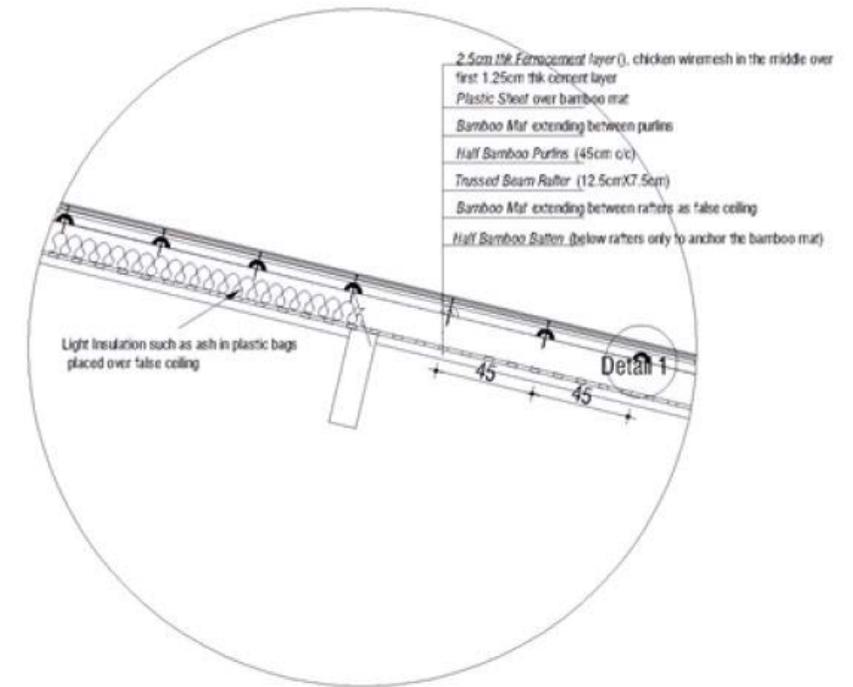


Fig 4.59 Dettaglio costruttivo solaio di copertura (CSEB manual, Cord)

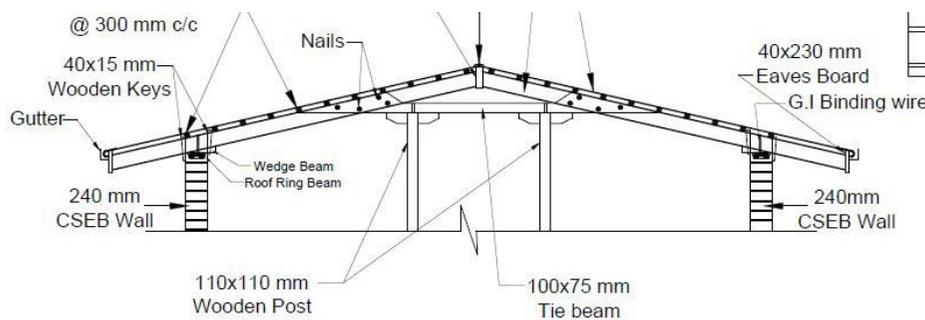


Fig 4.58 Sezione solaio di copertura (CSEB manual, Cord)

4.2.4 TELAIO IN BAMBÙ CON TAMPONAMENTO IN TORCHIS



Fig 4.60 Primo edificio con telaio portante in bambù, Pharping, Nepal (ABARI.earth)

Fondazioni

Fondazione superficiale continua in pietre squadrate e malta cementizia, ricalca la proiezione in pianta delle pareti portanti. Viene realizzato uno scavo di almeno 75 cm di profondità e comunque sufficiente ad arrivare allo strato inerte del suolo e dai 75 ai 90 cm di larghezza in base alla tipologia di suolo. Si procede quindi alla compattazione del terreno di fondo dello scavo con una mazzeranga manuale, è molto importante verificare il corretto livellamento del terreno in questa fase. Si procede quindi con la

muratura in pietra squadrata e malta cementizia a realizzare due gradoni di altezza uguale a scalare, di spessore progressivamente minore di circa 5 cm, avendo cura di verificare il piombo e il livellamento di ogni ricorso, e di posare le pietre con la lunghezza posta trasversalmente alla direzione del muro per rompere la continuità dei giunti tra le varie pietre ed evitare la creazione di due filari separati verticalmente.

Arrivati a livello della linea di terra si continua posando due corsi a due teste di mattoni in laterizio, sopra questi viene posizionata una membrana impermeabilizzante e si procede a gettare una trave continua in cemento armato, su cui vengono predisposti i giunti metallici per gli elementi del telaio verticale in bambù.

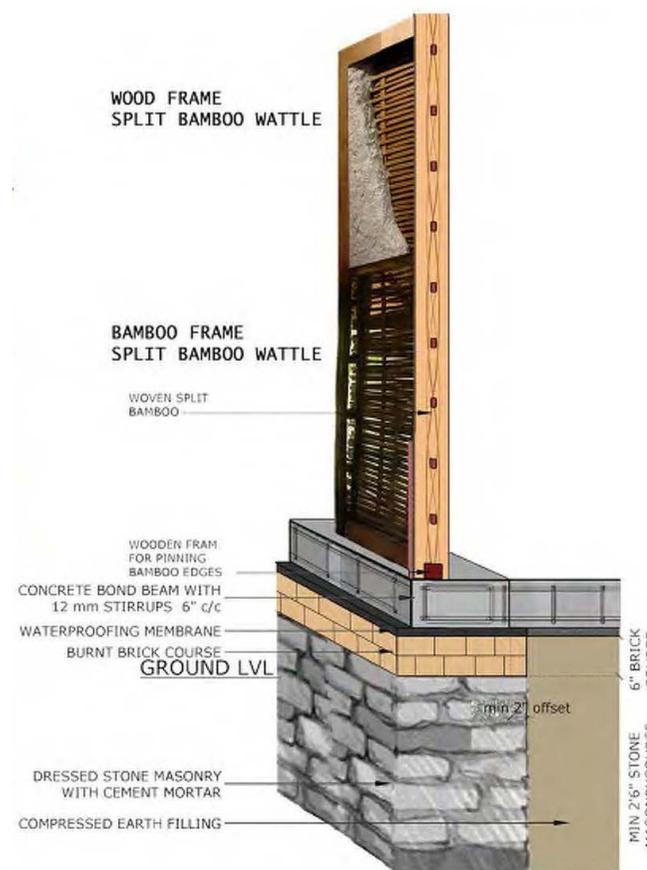


Fig 4.61 Sistema costruttivo wattle and daub (ABARI.earth)

Telaio

Viene realizzato un telaio in bambù trattato a pressione con una soluzione di acido borico e borace. Viene eretta tutta la struttura formata da dei pilastri cluster di bambù, un solaio intermedio costituito da un orditura primaria di travi e secondaria di travetti piuttosto fitti sempre in bambù su cui si appoggia un assito in strisce di bambù "splittato"; la copertura è costituita da delle capriate in bambù senza monaco. Le giunture metalliche vengono prodotte artigianalmente da carpentieri locali.



Fig 4.62 Primo edificio con telaio portante in bambù, Pharping, Nepal (ABARI.earth)



Fig 4.63 Primo edificio con telaio portante in bambù, Pharping, Nepal (ABARI.earth)



Fig 4.64-65 Primo edificio con telaio portante in bambù, Pharping, Nepal (ABARI.earth)



Muri di tamponamento

La tecnica utilizzata per realizzare i muri di tamponamento chiamata genericamente wattle and daub e conosciuta in Italia col suo nome francese, torchis, consiste nel realizzare un graticcio in bambù tra gli elementi primari e secondari del telaio strutturale in legno o bambù, che funge da supporto a una serie di diverse miscele a base di terra cruda e paglia e in alcuni casi stabilizzate con cemento o sterco di vacca. Questa tecnica costruttiva fa riferimento a una serie di tecniche che differiscono per pochi dettagli e varianti, usate per secoli nelle costruzioni vernacolari di diversi paesi del mondo, tra cui alcuni sismicamente molto attivi (Giappone-Tsuchikabe, Ecuador-Perù-Colombia-Bahareque-Quncha-Barro embutido, Europa, Stati Uniti), e che, in base alle testimonianze e agli studi eseguiti, hanno dimostrato di dare un contributo significativo a livello di controventatura e irrigidimento degli edifici. È importante il ruolo di protezione della struttura portante in bambù o legno dagli agenti atmosferici e biologici e coesione e durabilità della parete in terra cruda. Il metodo sviluppato per la ricostruzione in Nepal consiste in un intreccio a tela tra un ordito formato da una serie montanti verticali di bambù del diametro di 3-4cm, e una trama realizzata intrecciando orizzontalmente delle

strisce di bambù "splittato". Il graticcio così realizzato è fissato al telaio principale tramite incastri o mediante l'utilizzo di giunture in fil di ferro zincato. Si procede quindi a lanciare e successivamente a compattare e livellare con un frattazzo, sulla prima superficie del supporto così realizzato, una miscela di argilla, sabbia, sterco paglia e acqua, in modo che penetri profondamente nelle maglie della trama in bambù. Prima di procedere all'applicazione sulla superficie opposta è preferibile lasciare asciugare completamente questo primo strato (circa tre mesi, in base alle condizioni climatiche), l'asciugatura completa garantisce una durabilità superiore della struttura inglobata, in particolar modo se questa non è stata trattata chimicamente. Questo primo strato può essere rivestito da un o più strati di intonaco per renderlo più resistente e duraturo, nel caso venga lasciato a vista necessita di essere controllato e rinnovato periodicamente.



Fig 4.66 Realizzazione griglia di supporto in bambù (Kenji Matsuki)



Fig 4.67 Griglia di supporto in bambù e corde in fibra naturale (theyearofmud.com)



Fig 4.68 Posa della miscela in terra cruda sulla struttura di supporto (theyearofmud.com)

Copertura

La copertura è realizzata da delle capriate senza monaco in bambù (alternando una costituita da elementi singoli e una accoppiati) e giunti metallici, ancorate alle travi laterali in corrispondenza dei pilastri sempre mediante giunti metallici e unite da un trave di colmo. Sui puntoni è fissato un assito di strisce di bambù splittato e i travetti orizzontali su cui vengono posate le tegole in argilla o pietra.



Fig 4.69 Copertura primo edificio con telaio portante in bambù, Pharping, Nepal (ABARI.earth)

5 IL METODO DI INTEGRAZIONE

5.1 IL DESIGN CATALOGUE APPROVATO DAL GOVERNO PER LA RICOSTRUZIONE

Per promuovere la ricostruzione di edifici resistenti al sisma nel rispetto del *National Building Code* nelle aree rurali del Nepal, il *Department of Urban Development and Building Construction* (DUDBC) ha pubblicato e diffuso una serie di due cataloghi di progetti di abitazioni rurali, pensati in modo da fornire un ventaglio di possibilità per quanto riguarda tipologia, dimensione, materiali e tecniche costruttive, selezionati per ricevere automaticamente il permesso di costruire, in modo da stimolarne la richiesta e velocizzare anche il procedimento burocratico e in generale il processo di ricostruzione. Nel caso un cittadino voglia utilizzare un progetto originale, deve preoccuparsi e dimostrare autonomamente avvalendosi di un tecnico, che questo rispetti il *National Building Code*. I cataloghi sono stati realizzati dai tecnici del governo in sinergia con diverse agenzie non governative nazionali e internazionali. La redazione e pubblicazione di questi documenti è una diretta emanazione dei principi stabiliti dal *The Government of Nepal Post Disaster Needs Assessment* (PDNA). Per quanto riguarda la ricostruzione e il recupero degli edifici residenziali e degli insediamenti umani valgono i seguenti principi:

- 1-Incoraggiare la partecipazione della comunità rendendola responsabile della ricostruzione delle proprie abitazioni e assicurando una facilitazione delle pratiche di autocostruzione.
- 2-Assicurare una visione estesa della pratica di ricostruzione che includa una visione olistica dello sviluppo dell'abitato che includa oltre le abitazioni, i servizi e le infrastrutture comunitarie fondamentali. Il principio *Build Back Better* (BBB) applicato alle costruzioni; dev'essere ampliato a un concetto di insediamento sicuro.
- 3-La ricostruzione dev'essere considerata come un'opportunità per creare comunità in grado di essere resilienti per molto

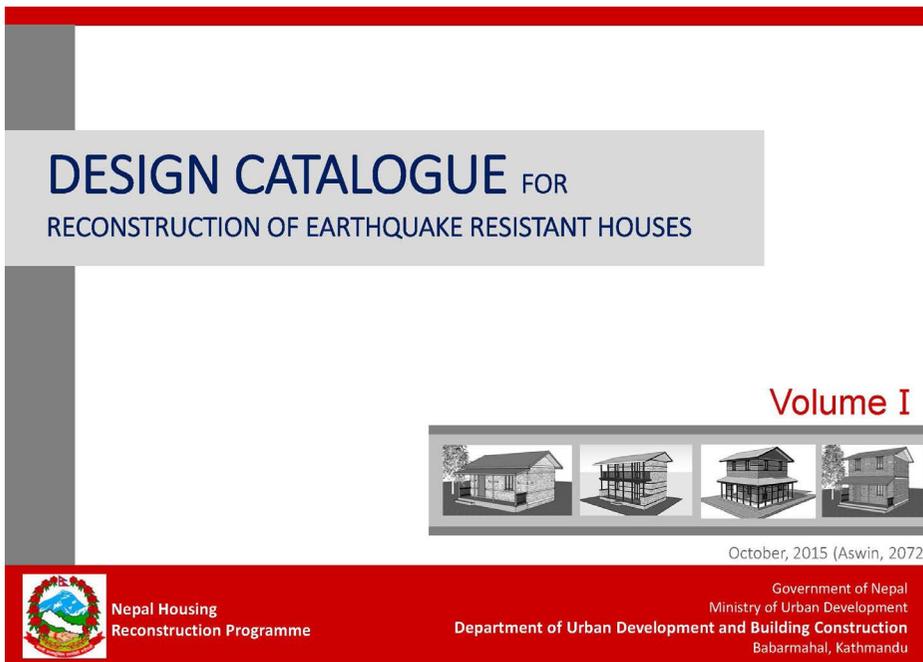


Fig 5.1 Copertine del Design Catalogue vol i e vol ii

tempo, riducendone le vulnerabilità e rafforzandone la capacità di limitare i danni in caso di calamità naturali, migliorando le pratiche costruttive utilizzate per la maggior parte degli edifici del paese.

4-Rafforzare l'economia locale attraverso il processo di ricostruzione e favorire pratiche che portino beneficio alle fasce della popolazione più emarginate, che rientrano per la maggior parte nel settore dell'economia informale. La ricostruzione deve rappresentare un'opportunità per le fasce più povere della popolazione di migliorare la propria condizione.

5-Assicurare un processo di ricostruzione sostenibile e eco-compatibile prendendo in considerazione fattori come il riscaldamento globale, la gestione delle risorse naturali e una valutazione scientifica dei rischi.

6-Assicurare che il processo di ripresa sia equo e inclusivo.

I due cataloghi si diversificano invece per alcuni principi alla base delle tecniche costruttive e i materiali utilizzati:

Desing Catalogue for reconstruction of earthquake resistant houses: è il primo catalogo ed è stato concepito per garantire la conservazione dell'architettura e delle tecniche costruttive vernacolari integrandole con pratiche mirate ad assicurarne la resistenza sismica e permettere alle famiglie colpite di ricostruire una casa migliore della precedente.

Questo primo catalogo comprende:

- Murature in pietra e malta in terra cruda
- Muratura in laterizio e malta in terra cruda
- Muratura in pietra e malta cementizia
- Muratura in laterizio e malta cementizia

Catalogue for Reconstruction of Earthquake Resistant Houses

Volume II: Il secondo catalogo comprende modelli basati su una serie di materiali e tecnologie alternative che non vengono prese in considerazione dal *Nepal National Building Code* e in particolare che rientrano in canoni di convenienza economica, sostenibilità

ambientale ed eco-compatibilità e comprende:

- Muratura a mattoni a incastro
- Muratura confinata in blocchi cavi di calcestruzzo
- Muratura in blocchi in terra compressa stabilizzata
- Muratura in pietra non squadrata e gabbia di contenimento in filo di ferro zincato
- Struttura ibrida in bambù e muratura in pietra
- Muratura rat trap bond
- Earthbag
- Struttura leggera in lamiera e profili di acciaio
- Struttura in acciaio
- Struttura in legno
- Muratura in blocchi di detriti e cemento

I cataloghi sono strutturati in modo per fornire informazioni per ogni modello proposto quali: viste tridimensionali, piante, sezioni e prospetti, sezioni, dettagli costruttivi e tabella riassuntive sulla quantità e il tipo di materiale necessario.



Fig 5.2 Briefing degli operai e delle operaie di un cantiere di training, Gorkha, Nepal

5.2 L'INTEGRAZIONE DELLE TECNICHE IN CANAPULO CALCE CON I MODELLI APPROVATI DAL GOVERNO NEPALESE

Nei prossimi paragrafi si andrà ad elaborare una strategia per integrare la miscela di canapulo e calce in uno o più modelli tra quelli proposti nel Design Catalogue, andando ad analizzare i singoli elementi costruttivi che possono essere sostituiti con questo materiale o aggiunti nel caso in cui non fossero presenti e sviluppando una strategia per la messa in opera e la realizzazione di questi elementi compatibile col modello preso in esame. La scelta di basarsi su di un modello esistente e non di crearne uno ex-novo rientra nell'ottica di fornire una risposta al quesito fondante di questa tesi, che prenda in esame anche fattori quali la fattibilità dell'operazione e la sua compatibilità con le normative vigenti in Nepal; a maggior ragione alla luce dei principi fondanti di queste norme (principi del PDNA illustrati nel paragrafo precedente) che coincidono esattamente con quelli dei soggetti promotori delle costruzioni in canapa e della bio-edilizia in generale. Per quanto riguarda la fattibilità, l'esperienza sul campo ha portato a comprendere come possa essere deleterio fornire una mole esagerata di concetti riguardanti nuovi materiali e/o nuove tecnologie costruttive, in quanto spesso non venendone compresi e interiorizzati i limiti e i campi di applicazione possibili, soprattutto in assenza di un apparato di controllo, vengono utilizzati in modo improprio, mettendo a rischio non solo la sicurezza e la buona riuscita dello specifico progetto, ma anche la reputazione del materiale o della tecnica costruttiva utilizzata e di conseguenza rischiando di compromettere definitivamente la sua possibile diffusione. Per la canapa questi aspetti risultano ancora più importanti visto il lento e difficile processo di riabilitazione di questa pianta che procede a livello internazionale per cancellare più di cinquant'anni di proibizionismo. Il modello scelto inoltre ha evidenziato caratteristiche particolarmente adatte fin da una prima analisi superficiale, che sono state confermate in seconda battuta insieme ad ulteriori ed inaspettate potenzialità.

5.2.1 IL MODELLO IBRIDO: MURATURA IN PIETRA E TELAIO IN BAMBÙ.

Il modello prescelto così come descritto nel Design Catalogue for reconstruction of earthquake resistant houses volume II, consiste in una struttura ibrida, in cui un telaio in bambù su due livelli è associato a una muratura in pietra solo a livello del piano terra, che contribuisce a portare il peso dei carichi verticali del solaio interpiano e del tetto. Il primo piano prevede un tamponamento realizzato col metodo del wattle and daub descritto nel capitolo 4. I motivi della scelta di questo modello sono dovuti principalmente alla presenza della struttura in bambù e alla sua compatibilità con le pratiche costruttive proprie delle costruzioni in canapa e in secondo luogo, grazie alla presenza della muratura in pietra, alla possibilità di dimostrare l'utilizzo della miscela in canapulo e calce in associazione a una parete in muratura con finalità di efficientamento energetico e miglioramento del comfort abitativo, temi non ancora attuali e di secondaria importanza per la situazione odierna del Nepal, come descritto in precedenza, ma che verosimilmente nell'arco di qualche anno diventeranno centrali come lo sono oggi in paesi più sviluppati.

Outdoor and indoor air temperature.

Survey area	Daily mean outdoor air temperature		Daily mean indoor air temperature		
	T_{out} (°C)		T_{in} (°C)		
	Summer	Winter	n	Summer	Winter
1) Banke	32.4	11.3	13 (10)	32.0	13.3
2) Bhaktapur	22.4	10.1	14 (5)	23.6	11.5
3) Dhading	20.1	11.9	15 (8)	22.2	14.8
4) Kaski	19.5	11.8	15 (7)	21.1	15.3
5) Solukhumbu	15.5	3.1	16 (6)	17.8	6.5

n: number of indoor measurement points (number of house).

Fig 5.3 Temperatura media interna ed esterna di alcune aree del Nepal (Building and environment, Fuller-Zahnd,Thakuri)

5.2.2 PERCHÈ IL BAMBÙ

Il bambù risulta particolarmente adatto all'utilizzo in commistione con la miscela di canapulo e calce, non solo per la complementarietà che li contraddistingue a livello costruttivo che verrà approfondita nei paragrafi successivi, ma anche per una serie di caratteristiche comuni dei due materiali: l'essere entrambi delle piante autoctone del Nepal, largamente diffuse e che crescono selvatiche in tutto il paese; avere un basso impatto ambientale perchè sono delle colture che crescono molto rapidamente senza richiedere particolari cure, nutrimenti o trattamenti e in aree scarsamente fertili e/o impervie, inadatte per altri tipi di colture; entrambe essere piante usate per i più svariati scopi da secoli in Nepal, parte della cultura e delle tradizioni del paese.

In Nepal si trovano 82 specie di bambù (il 5,2% delle specie mondiali) appartenenti a 23 generi (24% dei generi mondiali), con la particolarità della presenza in contemporanea dei bambù tropicali, caratteristici del sud-est asiatico e quelli dei climi temperati che si trovano in Tibet e in Bhutan. Il bambù è presente in 73 dei 75 distretti in cui è diviso il Nepal e si stima una sua estensione su circa 63.000 ettari di cui il 60% sono foreste selvatiche. Il bambù viene usato a scopo alimentare, come foraggio, come materiale da costruzione, per uso medico e per realizzare svariati oggetti di uso quotidiano. In Nepal vengono prodotti circa 3 milioni di culmi l'anno di cui 1.9 milioni vengono utilizzati localmente, 600.000 venduti sul mercato interno e 500.000 esportati in India. Nonostante le scarse infrastrutture, e la recente perdita di know-how sia per quanto riguarda la pianta che la sua trasformazione artigianale, il settore del bambù copre l'1-2% del Pil del Nepal. La generica scarsa qualità delle lavorazioni del bambù in edilizia non deriva da una sfiducia nelle sue proprietà strutturali, che sono note da tempo, ma da dubbi relativi alla sua durabilità dovuti all'utilizzo di bambù non maturi e non trattati e alla mancanza di conoscenza riguardo ai metodi di giunzione e progettazione delle strutture in bambù. Da qualche anno ABARI (Adobe and Bamboo Research Institute)

un'organizzazione privata di architetti e ingegneri, si occupa di invertire questa tendenza, fornendo assistenza e portando avanti progetti riguardanti la filiera del bambù a tutti i suoi livelli: dalla raccolta ai trattamenti dei culmi, dalla produzione di giunture metalliche specifiche alla progettazione di edifici. Il bambù ha una resistenza meccanica pari a quella di un acciaio dolce, il suo utilizzo è generalmente molto facile, economico e non richiede l'utilizzo di attrezzi particolarmente avanzati; di contro è un materiale di forma e dimensione difficilmente standardizzabili, aspetto che può essere migliorato grazie ad un'adeguata coltivazione, ed è soggetto a un rapido deterioramento (circa dieci anni), in particolare modo in climi freddi e asciutti e all'attacco di funghi e termiti se non trattato. Normative internazionali sul bambù come materiale da costruzione sono state approvate dall'ISO ma la mancanza di norme tecniche specifiche in ogni paese, compreso il Nepal, ne limitano molto l'utilizzo e un'estesa diffusione come materiale da costruzione.



Fig 5.4 Impianto di trattamento del bambù in autoclave (thailandbamboo.com)



Fig 5.6 Impianto di trattamento del bambù artigianale "boucherie" (meghanclewis.com)



Fig 5.5 Giunti metallici prodotti in nepal per trave reticolare in bambù (ABARI.earth)



Fig 5.7 Dettaglio giunti metallici prodotti in nepal per coperture in bambù (ABARI.earth)

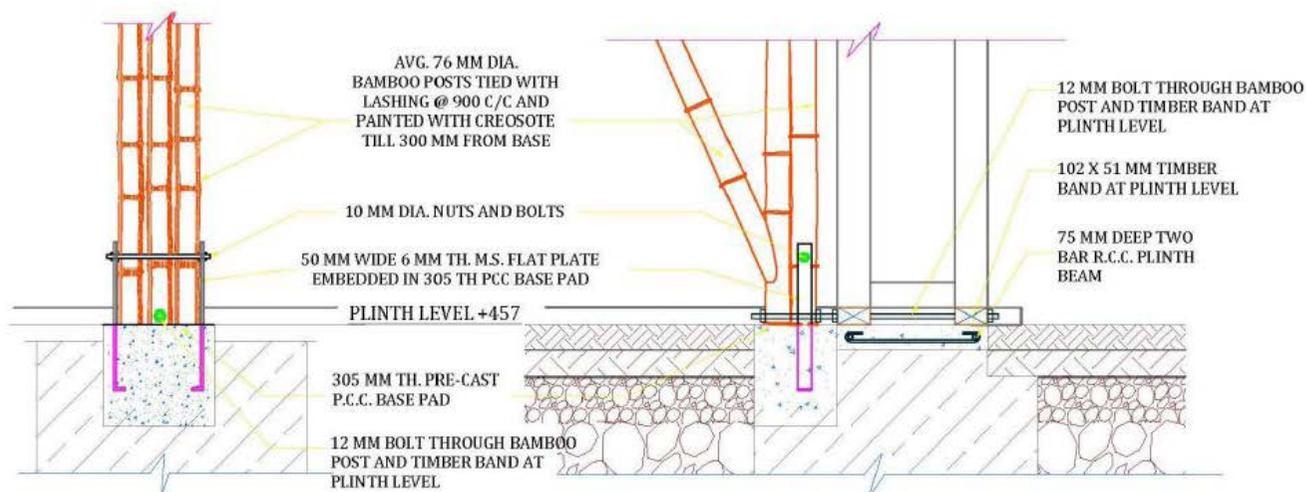
5.2.3 LE FONDAZIONI

Le fondazioni sono anche esse costituite dall'associazione di due tipologie differenti integrate fra di loro, in modo da accogliere al meglio la doppia struttura sovrastante. Una fondazione superficiale continua in pietra non squadrata e malta di argilla viene realizzata in corrispondenza della proiezione in pianta dei muri perimetrali e in due elementi trasversali verso l'interno in corrispondenza del muro di partizione interna. La fondazione larga circa 85cm e profonda almeno 75cm o comunque a sufficienza per raggiungere lo strato di sottosuolo inerte. La fondazione viene realizzata con le modalità descritte nel paragrafo 4.2.1 fino al raggiungimento, con la differenza che si sale senza gradoni fino al piano del basamento (circa 45cm fuori terra) e senza l'inserimento dei dispositivi metallici di contenimento. A livello del basamento viene gettata una fascia di 7.5cm di cemento come corso impermeabilizzante, al di sopra della quale si procede successivamente con la realizzazione della muratura. In corrispondenza dei pilastri verticali in bambù vengono

lasciata degli incavi all'interno della fondazione continua in pietra in cui viene gettato un plinto in calcestruzzo (circa 35x35x35 cm) e predisposte le piastre di ancoraggio che vengono parzialmente annegate nel calcestruzzo. Il solaio controterra è progettato con una stratigrafia che comprende a livello inferiore uno strato costituito da un'alternanza di pietre e malta di terra cruda compattate, un secondo strato di argilla battuta e una finitura del pavimento in terra cruda.



Fig 5.8 Realizzazione fondazioni (thekauleprototype)



DETAIL B (SECTION): BASE PAD FOR BAMBOO CLUSTER POSTS 'TYPE 1' AND 'TYPE 2'

DETAIL B (SIDE ELEVATION): BASE PAD FOR BAMBOO CLUSTER POSTS 'TYPE 1' AND 'TYPE 2'
ADAPTED FROM: RE-CONSTRUCTION OF MULTI-HAZARD RESISTANT HOUSES FOR THE 2008 KOSI AFFECTED DISTRICTS IN WEST BIHAR. PART - II: TECHNICAL GUIDELINES FOR BAMBOO BASED CONSTRUCTION

5.2.4 INTEGRAZIONE DEL MASSETTO IN CANPULO E CALCE NEL SOLAIO CONTROTERRA

I concetti di vespaio areato e isolamento termico dal terreno in Nepal sono nella maggioranza dei casi ignorati, ma possono essere introdotti in modo piuttosto semplice con l'integrazione del massetto in canapulo e calce nel solaio controterra dell'edificio. Viene trattato il suolo spargendo della calce in polvere e frammenti di vetro e venendo successivamente battuto perchè risulti compatto, quest'operazione è importante soprattutto nel caso ci si trovi ad avere a che fare con un terreno poco coeso e soggetto alla presenza di roditori. Si procede posando un tubo di areazione a serpentina lungo tutta la superficie e collegandolo ad apposite prese d'aria predisposte nella fondazione in pietra. Viene posato uno strato di ghiaia, con pietre il più possibile pulite e comprese tra i 5-10 cm di diametro, in modo che quando queste vengono compattate non si creino interstizi troppo piccoli adatti a creare una possibile risalita capillare dell'acqua e per garantire un minimo movimento d'aria. Una volta compattato questo primo strato (circa 20-30 cm) viene posato uno strato sottile (4-5cm) di ghiaia fine di diametro massimo di 2cm, che viene ulteriormente compattato. Prima di procedere col getto di canapulo e calce è bene predisporre una serie di marker del livello che si vuole raggiungere, per ottenere una superficie piana. La miscela del massetto in canapa contiene circa il 35% di legante; è importante preparare una miscela piuttosto asciutta, con la quantità d'acqua minima necessaria perchè i materiali si amalgamino, al fine di evitare la formazione in superficie di uno strato ricco di calce sulla superficie superiore del getto. Al di sopra del getto in canapulo viene realizzato il pavimento in terra cruda.

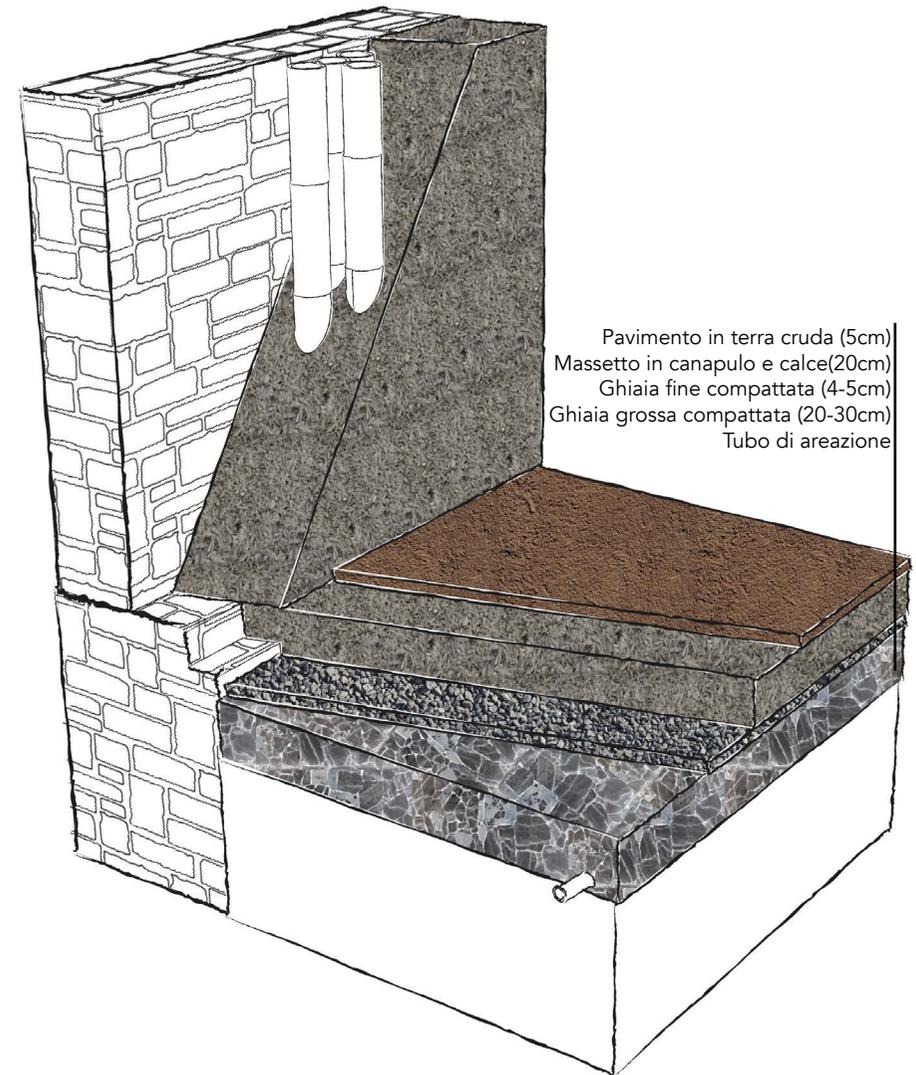


Fig 5.9 Integrazione del massetto in canapulo e calce nel solaio controterra

5.2.5 MURATURA E TELAIO IN BAMBÙ

In primo luogo vengono eretti i pilastri cluster in bambù, costituiti da un cluster di 4 elementi disposti a T sulle murature perimetrali e a L agli angoli dell'edificio. Dei 4 elementi che costituiscono il pilastro i tre paralleli al muro longitudinale sono a doppia altezza mentre il quarto interno copre l'altezza di un unico piano; dei pilastri secondari sono posti in corrispondenza delle aperture. I pilastri sono collegati da un cordolo all'altezza della superficie inferiore del solaio interpiano; in questa fase vengono realizzanti anche gli elementi diagonali di controventamento che uniscono la base dei pilastri al cordolo.

Una volta realizzata questa prima porzione del telaio interno si procede a erigere la muratura in pietra: a livello del basamento sopra la fascia cementizia anti umidità viene montato un primo cordolo di contenimento con due elementi di banchina perimetrali e una serie di elementi trasversali di collegamento; il cordolo può essere realizzato in bambù o in legno. A questo primo cordolo vengono fissati una serie di doppi montanti, uno a filo esterno e uno a filo interno in corrispondenza delle aperture. Si procede quindi a realizzare la muratura in pietra e malta in terra cruda, posizionando un cordolo intermedio a metà del muro e un ultimo sulla sommità del muro in modo da creare una gabbia di contenimento della muratura stessa.



Fig 5.10 Muratura in pietra e telaio in bambù (thekauleprototype)

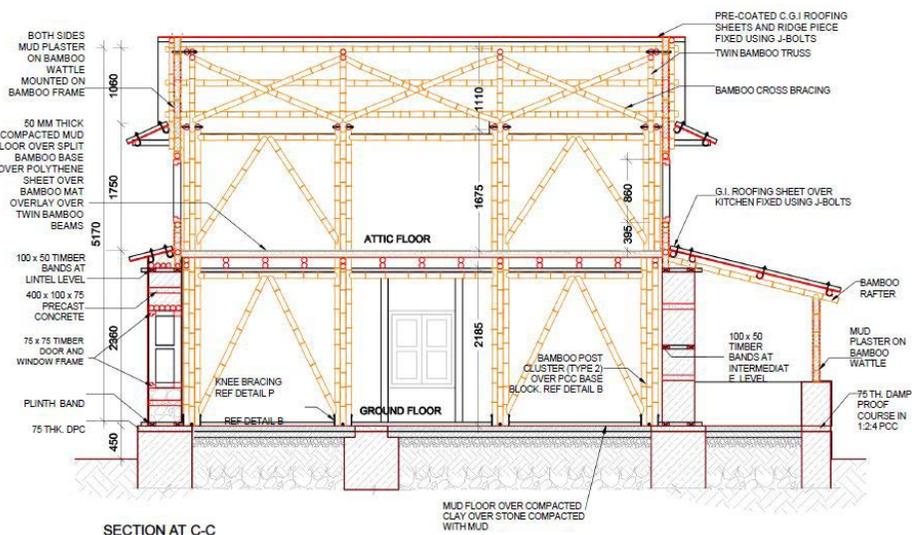


Fig 5.11 Sezione longitudinale (Design Catalogue vol ii)



Fig 5.12 Muratura in pietra e telaio in bambù (thekauleprototype)

5.2.6 CONTROPARETE CANAPULO E CALCE SU MURATURA IN PIETRA

Il tema dell'isolamento termico degli edifici, ad oggi ancora marginale, potrebbe nell'arco di pochi anni diventare centrale nell'economia di un paese in cui ci si scalda a legna, risorsa che sta diminuendo vistosamente e diventando sempre più difficile da reperire. Il sistema ibrido in muratura in pietra e bambù si adatta perfettamente al montaggio di una controparete interna isolante, che può sfruttare la parete esterna in pietra e lo spessore definito dal telaio in bambù per creare un'intercapedine adatta ad accogliere la miscela di canapulo e calce. In questo caso vista la funzione unica di regolazione termo-igrometrica, e la possibilità di sfruttare una controparete e un telaio preesistenti, è stato scelto di utilizzare una miscela molto magra, al 10% di legante, priva di una particolare coesione perchè usata a riempimento di un'intercapedine costituita dal muro in pietra e un sistema di arelle in strisce di bambù splittato inchiodate al telaio interno. In questo modo si rende possibile in primis l'utilizzo di un materiale dalle proprietà isolanti più elevate e in secondo luogo il risparmio sulla quantità di legante; si possono scongiurare possibili problemi in fase di asciugatura del materiale dovuti alla presenza di una controparete in pietra.

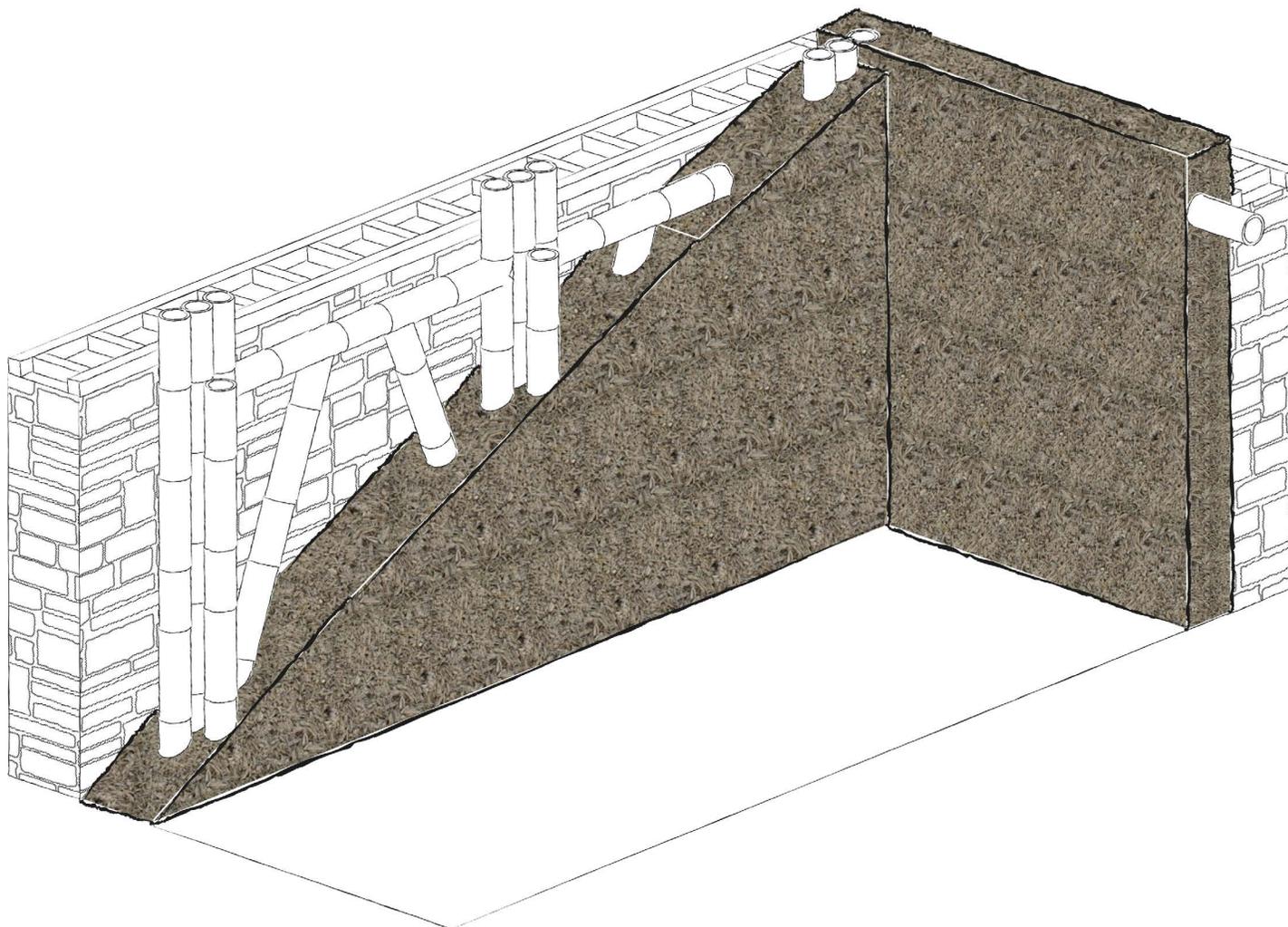


Fig 5.13 Integrazione del muro in canapulo e calce sin sovrapposizione alla muratura in pietra

5.2.7 SOLAIO INTERPIANO

Il solaio interpiano è costituito da un orditura trasversale all'asse longitudinale della pianta di travetti, composti da due culmi di bambù accoppiati e ancorati al cordolo sommitale della parete in muratura in pietra. Nella parte inferiore ai travetti sul piano del solaio vengono montati degli elementi diagonali collegati direttamente ai cluster di pilastri a formare tre croci di sant'andrea con funzioni di irrigidimento della struttura.

Il solaio è poi finito da un rivestimento in stuoia di bambù su cui viene posata una membrana impermeabilizzante; sopra la membrana viene fissato un assito trasversale ai travetti in culmi di bambù, splittati longitudinalmente e posati con la parte semi cilindrica verso l'alto. Il pavimento viene finito con uno strato di terra battuta di circa 5cm.



Fig 5.14 Realizzazione solaio intermedio (thekauleprototype)

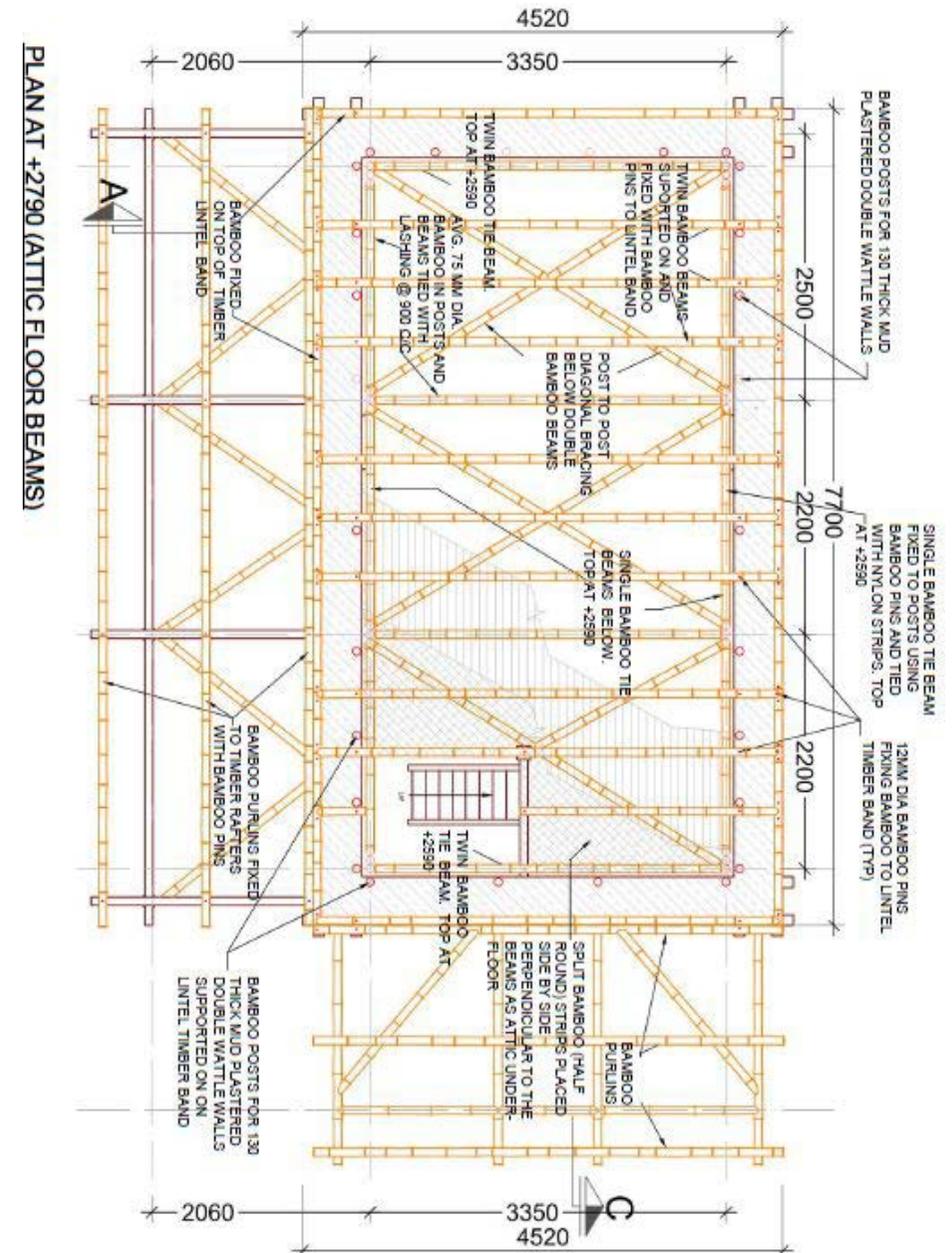


Fig 5.15 Pianta primo piano e solaio intermedio (Design Catalogue vol ii)

5.2.8 INTEGRAZIONE ISOLAMENTO IN CANAPULO E CALCE NEL SOLAIO INTERPIANO

L'isolamento del solaio interpiano può essere facilmente realizzato fissando un assito di strisce di bambù splittato sulla superficie inferiore dei travetti. In questo modo si vengono a creare dei cassettoni lunghi e stretti nei quali si inserisce la miscela in canapulo e calce. In questo caso lo starto in canapulo e calce non svolge

la funzione di massetto ma solo di isolante ed è quindi possibile utilizzare una quantità minima di legante, il 10% è sufficiente a rivestire le particelle di canapulo e garantirne una minima coesione. Il solaio viene quindi finito come previsto dal progetto originale, con l'assito in bambù splittato longitudinalmente che distribuisce i carichi direttamente ai travetti sottostanti senza gravare sul riempimento in canapulo e calce.

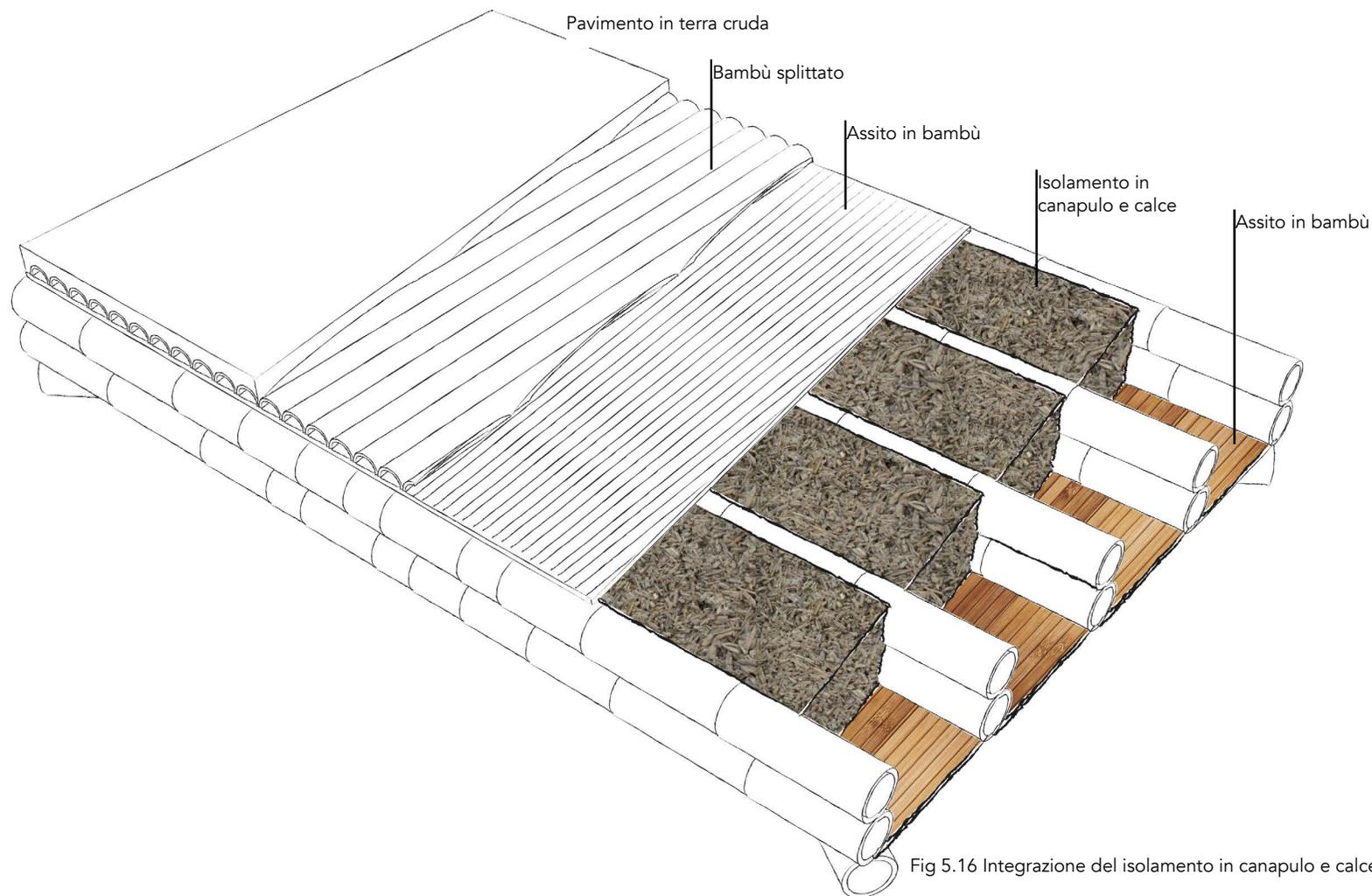


Fig 5.16 Integrazione del isolamento in canapulo e calce nel solaio interpiano

5.2.9 MURO DI TAMPONAMENTO AL PRIMO PIANO

Al piano superiore viene completato il telaio in bambù, aggiungendo un cordolo all'altezza di gronda e gli elementi diagonali di controventamento come al piano inferiore. Il muro di tamponamento è realizzato con la tecnica del wattle and daub descritta nel paragrafo 4.4.3, con i telai in bambù intrecciato e il relativo riempimento in terracuda che vengono fissati esternamente al telaio portante in bambù.



Fig 5.17 Realizzazione primo piano (thekauleprototype)



Fig 5.18 Realizzazione copertura (thekauleprototype)



Fig 5.19 Posa rivestimento in terra-paglia wattle-daub (thekauleprototype)



Fig 5.20 Posa rivestimento in terra-paglia wattle-daub (thekauleprototype)

5.2.10 SOSTITUZIONE DEL MURO DI TAMPONAMENTO CON IL GETTO IN CANAPULO E CALCE

Il getto in canapulo e calce previsto per sostituire i pannelli di tamponamento in wattle and daub, apporta una serie di notevoli vantaggi sotto diversi punti di vista: aumenta la prestazione in termini di regolazione igrotermica dell'edificio, permette di eliminare se necessario gli elementi di controvento diagonali, va ad inglobare la struttura in bambù e la protegge aumentandone la longevità e diminuendo i rischi di degrado e attacchi da agenti esterni, crea una continuità con gli elementi che compongono l'isolamento della copertura, del solaio interpiano e del muro in pietra sottostante eliminando di fatto i ponti termici. Per realizzare il getto in canapulo e calce va predisposto un reticolo di congiunzione con il telaio principale costituito da una griglia di bambù di diametro di circa 2 cm connessi attraverso l'utilizzo di una corda in nylon o fibre naturali e fissato al telaio principale ad incastro o avvalendosi di giunture metalliche; sarà necessario avere cura di verniciarle con un prodotto protettivo per evitare che vengano corrose dalla calce. Si procede quindi a gettare la miscela utilizzando un sistema di casseri direttamente ancorati e opportunamente distanziati alla

struttura in bambù principale, oppure, in alternativa creando una struttura secondaria di montanti che poggiano inferiormente sul pavimento interno, sulla sommità del muro esterno e sull'estremità superiore sono ammorati al cordolo in bambù, sul quale si fanno scorrere i casseri; questa seconda soluzione è da prediligere in quanto si evita di praticare dei fori sulla struttura portante in bambù rischiando di indebolirla.

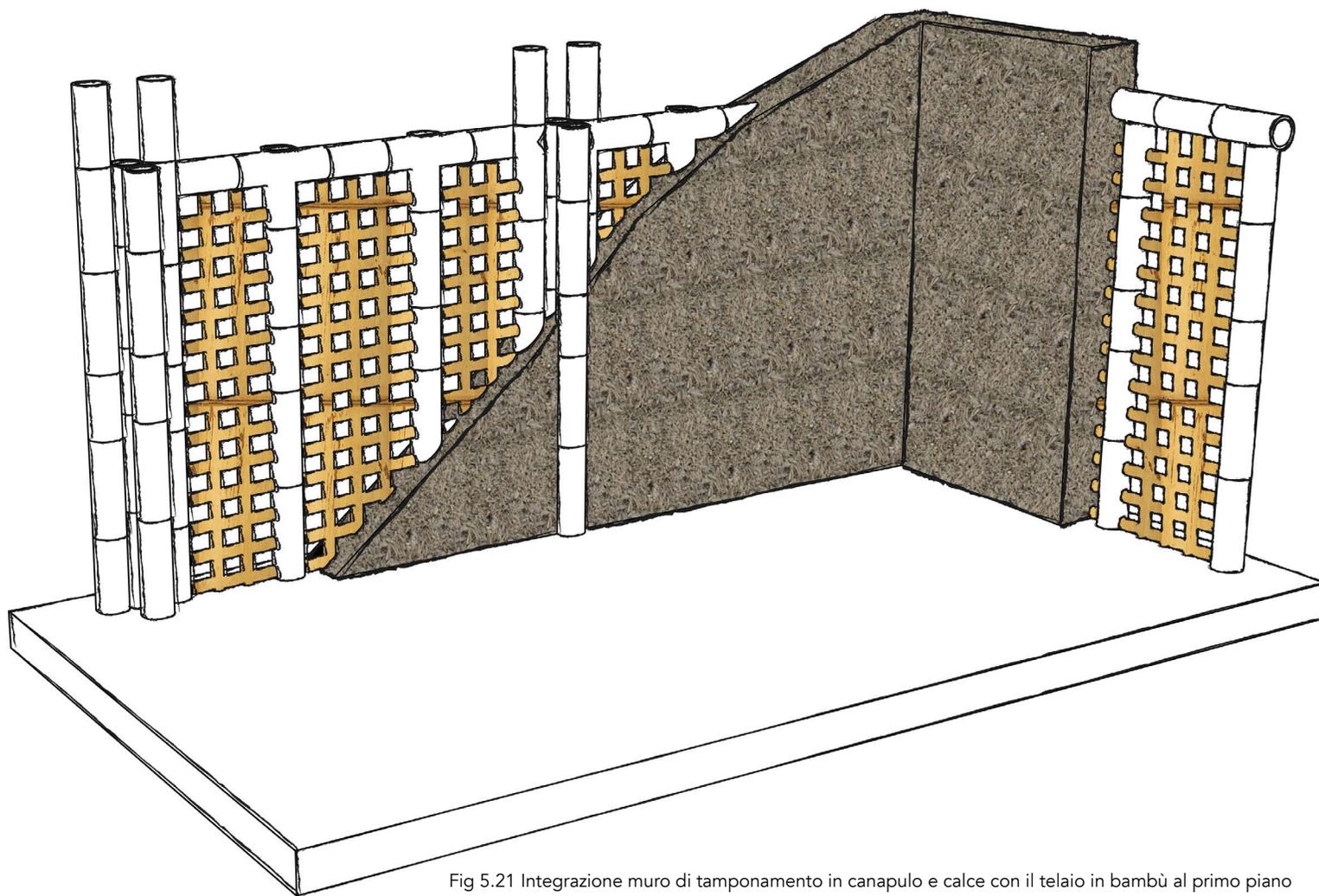


Fig 5.21 Integrazione muro di tamponamento in canapulo e calce con il telaio in bambù al primo piano

5.2.12 ISOLAMENTO DELLA COPERTURA CON LA MISCELA IN CALCE E CANAPULO

Sfruttando il telaio formato dal culmo inferiore che costituisce il puntone e gli elementi diagonali di irrigidimento posti sul medesimo piano di quest'ultimo, si fissa dal basso un assito di bambù splittato in modo da creare una superficie su cui posare l'isolamento in canapulo e calce. Si procede quindi a posare il canapulo sfuso alternato al latte di calce per evitarne lo scivolamento, come descritto nel capitolo 2. Una volta arrivati a livello del culmo superiore che costituisce il puntone, la stratigrafia viene conclusa da una guaina traspirante e la posa dei travetti in bambù, sui quali verrà fissata la lastra in lamiera grecata di copertura.

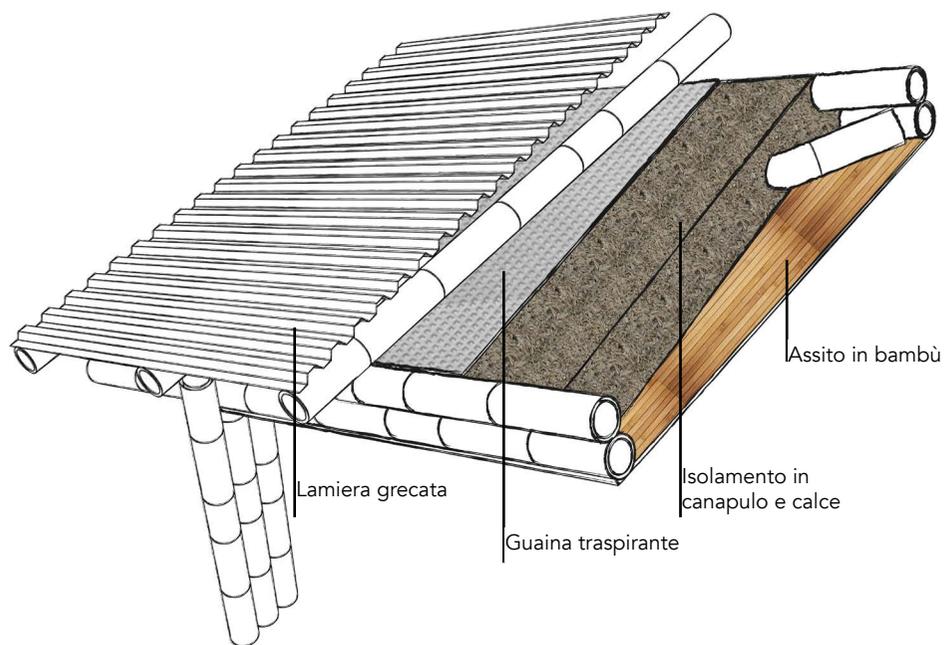


Fig 5.24 Integrazione isolamento in canapulo e calce in copertura

BIBLIOGRAFIA

ABARI (2015) Permanent housing prototypes. Abari:Katmandu.
<https://abari.earth/open-source/>

Allin, S. & Cohu,A. (2016) Best practice guide for the supply and use of Hemp Based Building Materials. International Hemp Building Association.

Allin, S. (2005) Building with hemp. Seedpress: Kenmare.

Amziane, S. & Arnaud L. (2013) Bio-aggregate-based Building Materials: Applications to Hemp Concretes. ISTE Lmted: London.

Arnaud,E. & De Herde, A.(2005) Bioclimatic envelopes made of lime and hemp concrete. EN:CISBAT 2005 - Renewables in a Changing Climate - Innovation in Building Envelopes and Environmental Systems, 28-29/09/2005,EPFL - Lausanne,Suisse.

Arya,A. & Boen,T. & Ishiyama,Y. (2014) Guidelines for earthquake resistant non-engineered construction.UNESCO:Paris

Bal'ci'unas,G. et al. (2015) Impact of hemp shives aggregate mineralization onphysical-mechanical properties and structure of composite with cementitious binding material. Industrial Crops and Products,vol.77 Dicembre, pp.724-734.

Bevan, R. and Woolley, T. (2008) Hemp Lime Construction: A guide to building with hemp lime composites.IHS BRE Press:Bracknell.

Bodach,S. & lang,W.& Hamhaber,J. (2014) Climate responsive building design strategies of vernacular architecture in Nepal. Energy and Buildings, Vol 81, October, pp 227-242.

Booth, M. (2003) Cannabis an history.Picador:New York.

C&B Constructions et Bioressources (2013) Current State of Knowledge on the Hygrothermal Behaviour of Bio-based Materials. C&B Constructions et Bioressources:Maillot. http://docs.wix-static.com/ugd/8fe244_cfc0e77b93c6448fb4aed38d881d3c41.pdf

Clarke,R. & Merlin,M. (2013) Cannasbi: Evolution and Ethnobotany.University of California press: Berkley and Los Angeles.

Collectif FFB, Association Construire en chanvre(2012) Construire en chanvre Règles professionnelles d'exécution. SEBTP:Paris.

Correia, Lourenço & Varum

Daly, P., Ronchetti, P. & Woolley, T. (2013) Hemp Lime Bio-composite as a Building Material in Irish Construction.Environmental Protection Agency Ireland: online only.<http://erc.epa.ie/safer/iso19115/displayISO19115.jsp?isoID=202>.

Desai,R. & Desai,R. (2005) Demonstration of Earthquake Resistant Design for Stone and Brick Masonry Buildings Through Shock Table Testing.NCPDP: Ahmedabad
Fullera,R. & Zahndb,A. & Thakurib,S.(2009)Improving comfort levels in a traditional high altitude Nepali house. Building and Environment Vol. 44(3), Marzo, pp.479-489.

Geiger,O. & Zemskova K. (2015) Earthbag Technology - Simple, Safe and Sustainable. Nepal engineers association technical journal, Vol. XLII(1), Gorkha Earthquake 2015 Special.

Gautam, D., Rodrigues, H., Bhetwal, K.K. et al. (2016) Innov. Infrastruct. Solut. 1: 1. <https://doi.org/10.1007/s41062-016-0001-3>
Kinnane, O., Reilly, A., Grimes, J., Pavia, S., & Walker, R. (2016).

Acoustic absorption of hemp-lime construction. *Construction and Building Materials*, 122, 674-682. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2016.06.106

Langenbach,R.(2009) Don't Tear it Down!:Preserving the Earthquake Resistant Vernacular Architecture of Kashmir. Oinfroin Media:Oakland.

Lawrence, M., Fodde, E., Paine, K. and Walker, P. (2012) Prestazioni termoigrometriche di una costruzione sperimentale in canapa-calce.Materiali ingegneristici fondamentali, 517. pp. 413-421

Martinez,G. (2017) Hygrothermal Assessment of a Prefabricated Timber-frame Construction Based in Hemp. *Procedia Environmental Sciences*,Vol.38, 2017,pp 729-736.

Nepal Housing Reconstruction Programme(2015) Design catalogue for reconstruction of earthquake resistant houses.VOL I Government of Nepal Ministry of Urban Development Department of Urban Development and Building Construction:Kathmandu.

Nepal Housing Reconstruction Programme(2017) Design catalogue for reconstruction of earthquake resistant houses.VOL II Government of Nepal Ministry of Urban Development Department of Urban Development and Building Construction:Kathmandu.

NCPDP with UNDP Nepal.(2016) Stone masonry in mud mortar: one and half, and two and half-storey with gi wires containment.Nepa housing reconstruction program:Katmandu.

Noel,A. (2011) Installation of technichanvre product. EN: International Hemp Building Association, 2nd International hemp building symposium, 27-28/04/2011, Granada, Spagna.

Rattazzi, A. (2007) Conosci il grassello di calce: origine, produzione e impiego del grassello di calce in architettura, nell'arte e nel restauro.EdicomEdizioni:Monfalcone

Reynolds,E. (2009) Japan's Clay Walls: A Glimpse into Their Tradition of Plastering.Createspace Independent Pub:

Rijala,H & Yoshidab,H. & Umemiyac,N. (2010) Seasonal and regional differences in neutral temperatures in Nepalese traditional vernacular houses. *Building and Environment*,Vol. 45(12), Dicembre, pp.2743-2753.

Rubin,V. (1975) Cannabis and Culture. *World Anthropology*.Mouton

Sestini,V. & Somigli, E. (1978) Sherpa Architecture.UNESCO:Paris.

Shrestha,H.(2012) Manual on Engineer CSEB Green Buildings in Nepal. Government of Nepal,Action Aid International Nepal,Centre of Resilience Development:Katmandu.

Shrestha,H. et al. (2011) Climate responsive and safe earthquake construction:a community building a school. *Journal of natural resources and development*, vol.1, Ottobre, pp.10-19.

Singh, M., Sardesai, M.M. (2016) Cannabis sativa (Cannabaceae) in ancient clay plaster of Ellora Caves, India. *Current Science*, 110 (5), 884-891. ISSN(print/online): 0011-3891, URL/DOI: <http://dx.doi.org/10.18520/cs/v110/i5/884-891>

Stanwix, W. & Sparrow, A. (2014) *The Hempcrete Book:Design and building with hemp and lime*. Greenbooks: Cambridge.

TESI

Dedda,C. (2013) Valutazione energetica su edifici costruiti con materiali non convenzionali: la canapa.Università degli studi di Bologna.

lanes,D.(2013) Il contributo della canapa nella bioedilizia: un potenziale non del tutto rivelato.Università degli studi di Trento.

Lubos,G.(2014) Performance of hempcrete walls subjected to a standard time-temperature fire curve. College of Engineering and Science, Victoria University.

Mondello,R. (2003) Il bambù come materiale da costruzione:Politecnico di Torino.

Ponzoni L.; Sorek Y.(2012)“Coltivare” l’architettura sostenibile tecniche costruttive e abachi delle stratigrafie con l’impiego del calcecanapulo.Politecnico di Milano.

CORSI E CONVEGNI

ANAB, Tecniche di costruzione con la canapa,1-3/7/2016, Provincia di Modena

Di Baio Editore, Bosco Alto,Ordine degli Architetti, Pianificatori, Paesaggisti e Conservatori della Provincia di Milano, La canapa in edilizia: un prodotto antico per un futuro migliore,16/11/2017 Milano.

International Hemp Building Association,6th International Hemp Building Symposium,11-12/10/2016 Verona.

SITOGRAFIA

abari.earth
assocanapa.it
bancadellacalce.it
canapaindustriale.it
calcepiasco.it
consciousimpact.org
ecorisaldamento.com
equilibrium-bioedilizia.it
forumcalce.it
hempecosystem.com
johntyman.com
ncpdpindia.org
promolegno.it
quaderniquarneti.it
shivhomesnp.weebly.com
thekauleprototype.blogspot.it
technichanvre.fr
terrepaille.fr
ton-gruppe.it
tradical.com