POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale in
ARCHITETTURA PER IL PROGETTO SOSTENIBILE

Architettura umanitaria:
progetto di shelter resiliente in bambù

Relatori:
Francesca De Filippi
Roberto Pennacchio
Alessia Monaco

Tesi di Laurea Magistrale di:
Silvia Ciocia
Matricola n°S251636

A.A. 2020-2021

Indice

1. INTRODUZIONE 5
2. SHELTER AFTER DISASTER 6
2.1 Il framework di riferimento 6
2.2 Shelter Response: strategie e parametri 8
2.3 Casi studio 12
2.3.1 Transitional Shelter 13
2.3.2 Core House 21
2.3.3 Semi-permanent Shelter 31
3. IL BAMBÙ COME OPPORTUNITÀ 34
3.1 Caratteristiche del bambú 34
3.1.1 Generalità della pianta 34
3.1.2 Morfologia e anatomia 37
3.1.3 Caratteristiche fisiche 40
3.1.4 Caratteristiche meccaniche 43
3.2 Problematiche specifiche 49
3.2.1 Durabilità 49
3.2.2 Resistenza all'umidità e all'acqua 50
3.2.3 Connessioni 51
3.2.4 Resistenza meccanica degli internodi 52
3.2.5 Assenza di Normative 53
3.3 Soluzioni tecnologiche 54
3.3.1 Trattamento con preservanti naturali o chimici 54
3.3.2 Stagionatura 58
3.3.3 Connessioni efficaci 59
3.3.4 Rinforzo degli internodi per sollecitazioni trasversali alle fibre 73
3.4 Linee guida per costruire con il bambù 76
4. IL PROGETTO 79
4.1. Esigenze progettuali 79
4.1.1 Esigenze sul piano umanitario 79
4.1.2 Esigenze del contesto climatico 80
4.1.3 Esigenze dello scenario di rischio 80
4.2 Concezione generale 84
4.3 Componenti 86
5. PREDIMENSIONAMENTO STRUTTURALE 98

5.1 Azioni sulle costruzioni e metodi di verifica 98
5.1.1 Azioni sulle costruzioni 98
5.1.2 Metodi di verifica 102
5.1.3 Combinazione dei carichi 105
5.2 Predimensionamento di massima e analisi dei carichi 106
5.2.1 Predimensionamento di massima 106
5.2.2 Analisi dei carichi 106
5.3 Gerarchia strutturale e schemi statici 109
5.4 Verifiche statiche 116
6. CONCLUSIONI 129
BIBLIOGRAFIA GENERALE 132
INDICE FIGURE 146

1. INTRODUZIONE

Nel 2018, secondo l'Internal Displacement Monitoring Centre, 17,2 milioni di persone hanno abbandonato le proprie abitazioni – pur rimanendo all'interno dei confini del proprio paese – a causa di disastri provocati dai cambiamenti climatici[1]. Questo dato riflette la sempre più allarmante condizione di milioni di persone costrette a ricercare un rifugio per poter *riniziare a vivere*.
A fronte del diritto ad una abitazione adeguata, sancita dalla Dichiarazione Universale dei Diritti dell'Uomo, numerosi scenari dagli esiti drammatici si verificano quasi quotidianamente, conducendo ad una riflessione obbligata. Quale contributo possono dare i professionisti e gli architetti? Attraverso quali strumenti tecnici e con quale approccio?
Da questo quesito la tesi prende le mosse, proponendo una ricerca teorica e un progetto di Shelter post disastro umanitario.
Il punto di partenza del percorso di ricerca è rappresentato dal progetto Polito vincitore del Concorso Resilient Homes Challenge, lanciato dalla World Bank nell'autunno 2018 con la partnership di Build Academy, Airbnb, UN-HABITAT e GFDRR[2]. Il team studentesco era guidato dai docenti F. De Filippi, M. Robiglio, M. Simonetti.
I presupposti della ricerca risiedono nel materiale prodotto in fase di concorso dal team; lo scopo che si prefigge è approfondire la proposta progettuale iniziale sino alla redazione di un progetto definitivo, ponendo particolare attenzione alla progettazione strutturale.

L'approfondimento progettuale procede su diversi piani. Inizialmente viene investigata la cornice entro la quale il progetto si inserisce per poter analizzare come il progetto si relaziona con essa. La "Core Unit", come chiamata in fase di concorso, rappresenta infatti una soluzione abitativa riconducibile alla sfera della *Shelter Response*, uno dei quattro ambiti chiave per l'azione umanitaria a seguito di una crisi.
Successivamente vengono studiate le soluzioni architettoniche e tecnologiche volte al raggiungimento dei requisiti di progetto, ponendo al centro della trattazione le proprietà e le possibilità offerte dal bambù.
La ricerca si avvalora di una verifica strutturale del progetto, condotta al fine di indagare il comportamento della struttura alle sollecitazioni e convalidarne la solidità.

La stesura del progetto esecutivo e la sua futura realizzazione verranno portati a compimento dal Team B-UP nei prossimi mesi, come frutto di uno sforzo congiunto di studenti e professori di diversi Corsi di Studi del Politecnico di Torino.

[1] Lanni A., UNHCR, *I rifugiati climatici*, https://www.unhcr.org/it/risorse/carta-di-roma/fact-checking/esistono-i-rifugiati-climatici/ .

[2] The Global Facility for Disaster Reduction and Recovery (GFDRR) è una partnership globale che supporta i Paesi in via di sviluppo a valutare e ridurre la loro vulnerabilità ai disastri naturali e al cambiamento climatico.

2. SHELTER AFTER DISASTER

Nel capitolo corrente viene presentato un quadro di contestualizzazione per definire il framework in cui il progetto si inserisce. La prima parte mira a presentare brevemente quali obiettivi e quali riflessioni muove la progettazione di uno Shelter; la seconda si focalizza sulla declinazione pratica dei precedenti paragrafi attraverso la presentazione di alcuni casi studio.

2.1 Il framework di riferimento

A seguito di una catastrofe naturale o di una crisi una delle maggiori sfide per i governi e le agenzie umanitarie, nonché per le persone stesse, risulta soddisfare il bisogno di riparo, ovvero *to meet the shelter needs* (IFRC 2013). Il settore *Shelter and Settlement* è infatti uno dei quattro ambiti chiave per l'azione umanitaria, insieme a *Water Supply, Sanitation and Hygiene Promotion; Shelter, Food Security and Nutrition; Health.*
L'azione umanitaria trova applicazione in essi mossa da tre principi fondamentali: il diritto a vivere con dignità, il diritto a ricevere assistenza umanitaria e il diritto a protezione e sicurezza (Sphere Association 2018). Essi vengono perseguiti attraverso un forte coordinamento intersettoriale, che permette una risposta olistica ai bisogni, ampliando la possibilità di successo di ogni intervento.

Sebbene la risposta umanitaria prenda avvio allo scoppio della catastrofe e supporti la popolazione colpita principalmente nella risposta immediata e nella ripresa a lungo termine, essa è fortemente influenzata dalla gestione del rischio effettuata in precedenza. È proprio attraverso la redazione del *Disaster Management Plan* che è possibile ridurre i danni potenziali derivanti dai rischi, assicurare una immediata e appropriata assistenza alle vittime del disastro e ottenere un *recovery* quanto più rapido ed efficace.

A tal fine si suddivide solitamente la gestione del disastro in **quattro fasi**, basandola sui principi della *Disaster Risk Reduction*, ovvero *Mitigation, Preparedness, Response* e *Recovery*. Le prime due fasi, collocate prima del verificarsi della catastrofe, permettono di applicare strategie atte a minimizzare i danni e a preparare la popolazione all'eventualità del disastro; le ultime due, successive ad essa, consentono di intervenire in maniera adeguata sulle conseguenze e progettare il ritorno ad una condizione di stabilità[3]. La durata di questi stadi è mutevole ed è legata alle caratteristiche proprie della crisi. La risposta umanitaria e la gestione della crisi si adeguano alla fase con cui ci si confronta, poiché al variare di essa e delle condizioni al contorno variano anche le strategie di intervento, gli strumenti e gli attori coinvolti.

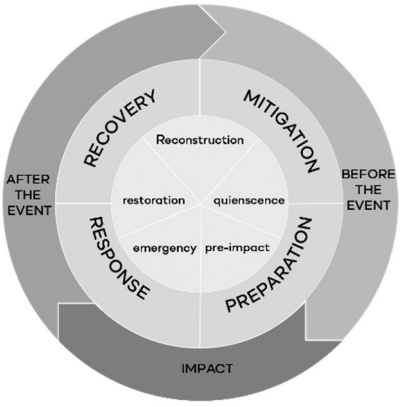


Figura 1. Ciclo di gestione del disastro (web).

In contesti di crisi umanitaria il riparo, o Shelter, si prefigura come un **essenziale contributo** per la sicurezza personale, per la protezione dagli agenti atmosferici, per la prevenzione di malattie e malessere: esso racchiude perciò le funzioni solitamente attribuite all'abitazione.
L'abitazione, che nella crisi post disastro appare come il fine a cui tendere, è in potenza anche il mezzo attraverso il quale l'uomo si sviluppa come individuo, cresce e consolida progetti e percorsi di vita. È perciò importante considerare anche lo Shelter con questa duplice valenza: esso è il luogo in cui la persona è fisicamente protetta dagli agenti atmosferici e si sente al sicuro dalle minacce esterne; è altresì il luogo in cui possono svolgersi alcune attività quotidiane fondamentali e dove il nucleo familiare possa ritrovare una dimensione più intima e privata.

[3] Srinivas H., *Introduction to Disaster Management*, consultato 06/2021 https://www.gdrc.org/uem/disasters/1-introduction.html

Lo Shelter si prefigura dunque come spazio in grado di soddisfare le esigenze fondamentali dell'uomo, in un contesto di scarsità ed emergenza. Esso persegue il diritto di accedere ad una abitazione adeguata, che è protetto dal diritto internazionale[4]: è il diritto a vivere in un luogo in condizioni di sicurezza, pace e dignità (Sphere Association 2018).
Il concetto di **adeguatezza** (*adequacy)* sottolinea l'importanza di guardare all'abitazione con uno sguardo più ampio, ovvero includendo il contesto in cui essa si realizza, il suo essere espressione dell'identità culturale e considerando l'accesso ai servizi idrici, sanitari e per la preparazione di cibi. Oltre alla sicurezza di possesso è fondamentale che l'abitazione sia situata in prossimità di opportunità lavorative e di servizi essenziali che permettano l'autosostentamento e l'autoaffermazione dell'individuo.

[4] ONU, *Dichiarazione Universale dei Diritti dell'Uomo*, 1948.

2.2 Shelter Response: strategie e parametri

Nell'ottica di ridurre i tempi che intercorrono tra una soluzione di emergenza e il trasferimento in un'abitazione permanente, garantendo allo stesso tempo soluzioni abitative dignitose, governi e organizzazioni umanitarie internazionali hanno esplorato differenti strategie di risposta abitativa, maturate e incrementate grazie alle esperienze dirette e alla valutazione dei risultati a valle dell'emergenza.
Sebbene tutte le strategie mirino ad un *Recovery* quanto più efficiente e breve possibile, ognuna di esse è mossa da obiettivi differenti, strettamente dipendenti dalla condizione di partenza e dall'analisi che di essa viene fatta.
Le condizioni al contorno guidano la scelta di un approccio piuttosto che un altro: la presenza di *Displaced* o *Non-displaced population*, la disponibilità di aree libere fuori dalle zone a rischio calamità, la capacità delle persone di provvedere autonomamente al miglioramento del proprio stato sono solo alcuni degli aspetti da approfondire per effettuare una corretta valutazione della situazione e dei bisogni per poi procedere con la pianificazione della risposta abitativa[5].

Tra le **possibili strategie di risposta abitativa** vengono presentati il *Transitional Shelter Approach*, il *Semi-permanent Shelter* e le *Core House* o *One Room Shelter*, poiché rappresentano delle soluzioni abitative incrementabili, che vanno oltre alla semplice fornitura di una tenda o di uno shelter di emergenza della durata massima di un anno. Esse sono inoltre contraddistinte da caratteristiche tecniche e formali che rispecchiano per diversi aspetti il progetto di Shelter che verrà in seguito proposto.

Si definisce **Transitional Shelter** una soluzione abitativa incrementale, ovvero in grado di rispondere tempestivamente al variare dei bisogni della popolazione durante tutte le fasi dell'azione umanitaria.
Con *Transitional Shelter Approach* ci si riferisce all'evolvere di un processo piuttosto che alla fornitura di un prodotto: esso impegna differenti settori coinvolti nella risposta umanitaria, dall'ambito *Shelter and Settlement* sino alla promozione di fornitura di acqua, sanità e igiene (Shelter Centre 2012).
Sebbene il Transitional Approach nasca dall'esigenza di rendere più fluido il passaggio tra l'Emergency Shelter e la ricostruzione, il termine Transitional Shelter non afferisce ad una fase distinta all'interno del processo di *response*, come talvolta viene erroneamente inteso.
Il processo *transitional* prende avvio subito dopo l'insorgere della catastrofe, ovvero già con la prima distribuzione di beni materiali alla popolazione colpita, per concludersi al raggiungimento di una condizione di stabilità, coincidente con il trasferimento in un'abitazione definitiva.
Il *Transitional Shelter* A*pproach* può essere applicato attraverso differenti modalità: molto spesso il processo è caratterizzato dalla fornitura di materiali costruttivi e/o supporto economico da parte di enti locali o agenzie internazionali; può talvolta includere un'assistenza burocratica e normativa al fine di dipanare le problematiche legate alla proprietà dei terreni o allo status delle persone colpite; generalmente implica una trasformazione graduale dello Shelter emergenziale a soluzioni più adeguate e durevoli (Shelter Cluster Afghanistan 2017). I principali autori del processo sono dunque le persone colpite dalla catastrofe, con il sostegno continuo e duraturo delle organizzazioni nazionali e internazionali.

Secondo la definizione dello Shelter Centre, espressa nel documento *Transitional Shelter Guidelines*, il Transitional Shelter è:
"…an incremental process which supports the shelter of families affected by conflicts and disasters, as they seek to maintain alternative options for their recovery."

Esso è ulteriormente descritto dalle sue cinque caratteristiche fondamentali, ovvero:

1. UPGRADABLE: lo Shelter può essere migliorato sino a diventare parte di una abitazione permanente;
2. REUSABLE: lo Shelter può essere utilizzato per un altro scopo;
3. RELOCATABLE: lo Shelter può essere ricollocato da sito temporaneo ad un luogo definitivo;
4. RESALEABLE: lo Shelter può essere rivenduto per generare un'entrata utile al *recovery*;

[5] Per un approfondimento adeguato si consiglia la consultazione dello *Sphere Handbook* e di altri manuali specifici.

5. RECYCLABLE: lo Shelter può essere riciclato e I suoi materiali riutilizzati.

In generale il Transitional Shelter può essere utilizzato quando è richiesta un'assistenza emergenziale tempestiva ma sussistono difficoltà riguardo la proprietà dei terreni, il loro utilizzo a causa dell'inaccessibilità degli stessi o la carenza di possibilità di sostentamento per la popolazione.
Considerando che normalmente ogni forma di Shelter duraturo richiede la proprietà del terreno o un contratto di affitto, al quale segue l'ottenimento del permesso di costruire presso le autorità locali, l'avvalersi di un transitional Shelter può essere risolutorio, proprio perché esso nasce con la previsione di un ricollocamento.
L'impiego di un transitional Shelter è consigliato inoltre quando sussistono condizioni favorevoli al ritorno della popolazione ai luoghi di origine e risulta al contempo vantaggioso e attuabile il riutilizzo dei materiali forniti per il transitional Shelter nella costruzione di un alloggio definitivo.

I Transitional Shelter possono supportare sia *displaced* che *non-displaced population*. Le prime all'interno di un programma di insediamento transizionale e le seconde all'interno di un programma di ricostruzione transizionale; in entrambi i casi nella cornice di una risposta coordinata, integrata e comprensiva di una strategia intersettoriale per *Shelter, Settlement and Reconstruction* (Shelter Centre 2012).
Nello specifico le comunità *non-displaced* possono utilizzare i transitional shelter come abitazione di partenza alla quale applicare migliorie, espansioni o sostituzioni di parti; le *displaced populations* possono usufruirne durante il processo di recovery per poi smontarla, riutilizzarla o rivenderla quando hanno possibilità di tornare a casa o reinsediarsi. Inoltre le soluzioni transitorie possono essere impiegate come strutture accessorie, al fine di stipare beni materiali o bestiame, talvolta per sviluppare piccole attività di vendita.
Su un piano generale un programma di tipo transizionale può richiedere anche numerosi anni prima di essere portato a compimento.

Per quanto concerne la soluzione tecnica è fondamentale sottolineare come essa sia descritta dalle 5 caratteristiche sopracitate ma deve al contempo essere sviluppata in una logica di tempestività, flessibilità e adattabilità al contesto in cui viene applicata.
Nella progettazione dello Shelter devono essere integrate le valutazioni delle competenze tecniche e costruttive della popolazione nonché la capacità di partecipare attivamente al processo di costruzione, la reperibilità di materiali locali e la loro adeguatezza ai bisogni da soddisfare.
Sebbene rappresentino una soluzione incrementabile i transitional Shelters devono prevedere sin dai primi stadi del processo un miglioramento della protezione dai rischi, il perseguimento della salute e l'ottenimento di opportunità di autosostentamento, atte a garantire la dignità della persona.

Core Housing o *One Room Shelter* è invece un'unità abitativa pianificata, progettata e costruita per essere il nucleo centrale di una casa permanente, che verrà portata a compimento secondo mezzi e risorse a disposizione del proprietario, nei tempi e modi da lui stabiliti. L'obiettivo è fornire uno spazio abitabile e sicuro, composto solitamente da una stanza, talvolta da due, corredato di servizi igienici e di un impianto idrico, fornito inoltre degli oggetti necessari alle attività domestiche fondamentali (Sphere Association 2018).
Nella categoria rientrano anche le soluzioni che prevedono la costruzione di una stanza abitabile e sicura all'interno di un frame, il quale sosterrà le porzioni abitative aggiunte (Shelter Cluster Philippines 2014).

Il processo di estensione è talvolta incentivato dalle agenzie umanitarie attraverso la condivisione di manuali tecnici o momenti formativi utili a trasmettere il *know-how* necessario per procedere autonomamente con il miglioramento o l'ampliamento dell'abitazione, nella consapevolezza delle misure di contenimento dei rischi (*DRR measures*). La soluzione tecnica deve infatti fornire maggiori prestazioni in termini di resistenza e durabilità rispetto ad una soluzione *temporary* o *transitional* e deve quindi prevedere un controllo attento della qualità dei materiali.
La realizzazione di Core House è rivolta a nuclei familiari per i quali sussistono le seguenti condizioni:

- garanzia, formale o informale, di proprietà a lungo termine dei terreni sui quali si sono insediati, i quali devono essere contraddistinti da basso rischio di catastrofe (IFRC 2013);

- possesso di risorse economiche e capacità sufficienti ad estendere e incrementare l'abitazione nel futuro;
- abitazione originaria distrutta o irreparabile.

I programmi Core House possono includere diverse modalità di implementazione, opportunamente combinate a seconda delle necessità. Ciò avviene utilizzando la fornitura di materiali da costruzione, di denaro, di manodopera o supporto tecnico come forme di assistenza (Shelter Cluster Philippines 2014).

Semi-permanent Shelter definisce un modulo abitativo contraddistinto dalla costruzione di alcune parti, come ad esempio la fondazione e la copertura, atte a garantire minima protezione nell'attesa che il resto della casa sia completata. Questo approccio può richiedere che alcune componenti possano essere disassemblate per portare a compimento l'intera costruzione (Shelter Centre 2012).
Il processo è caratterizzato da una logica di incrementabilità, strettamente legata ai bisogni e alle possibilità del nucleo familiare, che è libero di completare l'abitazione sulle base delle proprie decisioni.
Questa strategia è solitamente associata alla fornitura di cucine e servizi sanitari e idrici, che possono essere gestiti a livello comunitario o integrati in ogni modulo abitativo.
La soluzione s*emi-permanent* risulta adeguata sia per la popolazione sfollata, se accolta in un nuovo insediamento, sia per il supporto dei *non-displaced* nei pressi dei loro luoghi di origine, come nel caso della crisi umanitaria in Burundi del 2016 (Global Shelter Cluster 2019). La potenzialità dell'approccio è quello di offrire un aiuto concreto in un momento di grande incertezza, per poi permettere alle famiglie di attuare processi di *self-recovery*.

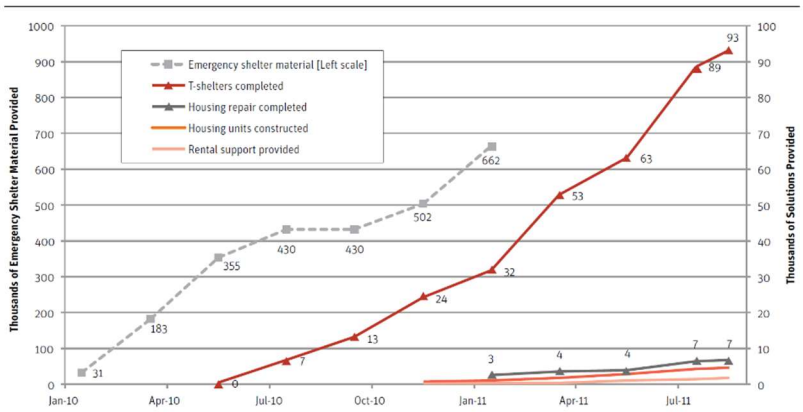


Figura 2. La risposta umanitaria ad Haiti nel periodo gennaio 2010-agosto 2011 in migliaia di unità. Essa mostra l'impiego di diverse opzioni di assistenza (Hirano 2012).

Esistono inoltre ulteriori opzioni di assistenza che possono essere combinate per incontrare i bisogni delle persone colpite la cui applicabilità è strettamente legata a numerosi altri parametri, quali il contesto, le capacità della popolazione, le risorse disponibili, lo scenario dell'insediamento e la fase della risposta umanitaria presa in considerazione, nonché la cornice legale e politica in cui l'intervento si inserisce (Sphere Association 2018).
Generalmente la risposta umanitaria in area urbana è molto più complessa da attuare, poichè condizionata da una elevata densità di popolazione, dal bisogno di infrastrutture, dalle normative cittadine e dalla presenza di comunità molto diverse nello stesso territorio.
Le opzioni sono rappresentate dalla fornitura di kit di costruzione e/o materiali, dall'impiego di *temporary shelters*, dalla realizzazione di opere di riparazione e *retrofitting*, dal sussidio per affitti di terreni o abitazioni, dall'ospitalità presso altre famiglie,…

Sul piano normativo **i criteri specifici che guidano la progettazione degli Shelter** vengono solitamente sanciti dall'interazione tra le amministrazioni locali e gli stakeholders del settore umanitario.
Alcune fondamentali indicazioni in tal senso vengono fornite dallo *Sphere Handbook*, il quale mette a punto i *Minimum Humanitarian Standards for Shelter and Settlement*, come espressione pratica del diritto ad una abitazione adeguata nei contesti umanitari. Gli Standards sono fondati sui principi, sui diritti e sui doveri dichiarati nella *Humanitarian Charter* del medesimo manuale. Essi includono il diritto a vivere con dignità, il diritto a protezione e sicurezza e il diritto a ricevere assistenza umanitaria in base a necessità.
Gli avanzamenti verso il raggiungimento degli Standards in un'area influenzano e sono influenzati dai processi in corso nelle altre aree di intervento: per una risposta umanitaria efficace è dunque fondamentale la presenza di un forte coordinamento intersettoriale.

Per quanto concerne il settore *Shelter and Settlement* i *Minimum Standards* sono definiti per tutti gli ambiti di intervento di cui il settore si compone, tra i quali la pianificazione generale (*planning),* la collocazione e pianificazione dell'insediamento *(location and settlement planning*), la fornitura di beni materiali e assistenza tecnica e la definizione dello spazio di vita *(living space).*
Quest'ultimo ambito è quello di maggior interesse ai fini della tesi, poiché fornisce linee guida e indicatori chiave per la progettazione di una soluzione tecnica adeguata.

Al fine di garantire al nucleo familiare il diritto ad un alloggio sicuro, protetto e adeguato ai bisogni fondamentali lo Shelter deve prevedere:

- Uno spazio vivibile minimo di 3,50 m^2 per ogni persona, ad esclusione di bagno e cucina (4,50 m^2 in luoghi freddi ove questi servizi sono inclusi);
- Un'altezza interna tra pavimento e soffitto di almeno 2,60 m nel punto più alto;
- Uno spazio adeguato ad ospitare le attività domestiche fondamentali, quali cucinare, lavarsi, mangiare, dormire;
- Uno spazio chiuso verso l'ambiente esterno e protetto da un tetto inclinato per la protezione dalla pioggia;
- Buone condizioni di luce, ventilazione naturale e comfort termico;
- Soluzioni spaziali e tecniche costruttive culturalmente e socialmente accettabili e sostenibili;
- Adeguata protezione dai raggi solari diretti ed eventuali spazi coperti all'aperto per i climi caldi;
- Accessibilità a WASH (*Water, Sanitation and Hygiene*) e *Cooking facilities,* inclusi nello Shelter o previsti a livello comunitario;
- Accessibilità dello shelter da spazi pubblici e la predisposizione di vie di fuga.

Tali indicazioni dimensionali sono da ritenersi accettabili per soluzioni *temporary, transitional o progressive*, ma devono essere incrementate quando lo Shelter prevede una permanenza più lunga da parte degli occupanti (Sphere Association 2018).

Queste caratteristiche trovano diversa declinazione al variare della tipologia di Shelter, poiché ognuno di essi è contraddistinto da differenti tempi di realizzazione, durata effettiva, flessibilità e fornitura di servizi.

Su un piano generale è fondamentale che la progettazione dello Shelter tenga in considerazione numerosi fattori anche molto diversi tra loro. Al fine del raggiungimento di un equilibrio, ovvero di un *response* efficace, al comfort, alla durabilità e alla vivibilità dello Shelter dovranno corrispondere un'attenta valutazione dei costi e dei tempi di realizzazione, nonché del numero di persone da sostenere e della reperibilità dei materiali da costruzione (IFRC 2013).

2.3 Casi studio

Nel corrente paragrafo si procede alla presentazione dei casi studio, che sono stati selezionati all'interno di una casistica più ampia, stilata sulla base di **tre criteri**.
Il primo criterio di scelta si basa sulla selezione di **progetti di risposta a disastri naturali di grande entità**, definiti *Megadisasters*, ove la compresenza di fenomeni naturali catastrofici di diverso tipo implica la necessità di realizzare soluzioni abitative adeguate a diverse tipologie di rischio (terremoto e tsunami, uragano e inondazione,…)
In risposta al medesimo *Megadisaster* vengono spesso adottate soluzioni abitative anche molto diverse tra loro, poiché le condizioni al contorno potrebbero non essere le stesse in tutta l'area interessata dal disastro. Si è ritenuto quindi interessante presentare alcuni Shelter attinenti alla medesima catastrofe, in modo da poterli confrontare.

Il secondo criterio riguarda **l'appartenenza ad una delle tre tipologie di Shelter** citate in precedenza, ovvero *Transitional Shelter*, *Core House* o *Semi-permanent Shelter*.

Il terzo criterio considera i materiali costruttivi adottati nella realizzazione; sono quindi stati scelti casi studio che esemplificassero **la varietà dei materiali accessibili e utilizzabili** per le tipologie di Shelter sopracitate.

Ogni caso studio viene presentato con una breve descrizione dell'evento catastrofico e del progetto di *Shelter Response* attuato, con riferimento ai numeri rappresentativi dell'entità dell'intervento.
Ad esse segue l'analisi della soluzione tecnica adottata, che viene stilata al fine di approfondire come ogni caso studio si relaziona con i parametri della tipologia alla quale appartiene. Viene così offerta una panoramica di come la categorizzazione teorica trova applicazione nella realtà.

L'analisi di ogni caso studio avviene secondo i **seguenti criteri**:

- Vivibilità;
- Durabilità;
- Flessibilità;
- Incrementabilità, vista come possibilità di miglioramento;
- Tempi di realizzazione;
- Possibilità di ampliamento;
- Protezione dagli eventi catastrofici;
- Configurazione e materiali utilizzati;
- Adeguamento al contesto climatico;
- Adattabilità a diversi contesti culturali;
- Modalità di coinvolgimento della popolazione nel processo di progettazione e costruzione.

Casi studio:

1. Transitional Shelter - terremoto di Yogyakarta, Indonesia, 2006.
2. Transitional Shelter - CRS Haiti, Port Au Prince, terremoto di Haiti, 2010.
3. Core House - Santo Development Project in Léogâne, terremoto di Haiti, 2010.
4. Core House - Ciclone Sidr, Bangladesh, 2007.
5. Core House - Tifone Haiyan, Filippine, 2013.
6. Semi-permanent Shelter - Aceh, Indonesia 2004.
7. Semi-permanent Shelter - IOM, terremoto di Haiti, 2010.

Per la selezione e l'analisi dei casi studio sono state consultate le seguenti fonti: report annuali Shelter Projects, report di casi studio prodotti da IOM, IASC, IFRC, UN-HABITAT; alcuni documenti specifici sui singoli progetti redatti dalle agenzie internazionali che hanno seguito il caso.

2.3.1 Transitional Shelter

Caso studio 1. Transitional Shelter, terremoto di Yogyakarta, Indonesia, 2006.

Descrizione sintetica dell'evento catastrofico.

Il terremoto colpì l'estremo sudorientale della provincia di Yogyakarta, nell'isola centrale di Giava, il 24 maggio 2006. Più di 8˙000 villaggi rurali e periurbani furono devastati, portando 2 milioni di persone ad una condizione di estrema precarietà abitativa.
La risposta umanitaria vide la compresenza di numerosi attori pubblici e privati e delle organizzazioni internazionali. Essa fu portata avanti con grande tempestività, grazie alla fase di *preparedness*, che era già in corso a causa della eruzione del monte Merapi, collocato nelle vicinanze.
La natura semi-rurale della maggior parte delle aree colpite permise la costruzione di Shelter nelle aree libere da macerie. La popolazione, spinta dal desiderio di supervisionare le proprie proprietà al fine di mantenerne il controllo, optò per collocarsi non lontano dalle aree del disastro.

Descrizione sintetica del progetto.

L'organizzazione sviluppò un progetto di Shelter appropriato al contesto e basato sull'impiego di materiali e tecniche costruttive tradizionali, che prese avvio. Fu lanciato un programma di Shelter recovery realizzato dalla comunità e supportato dalla presenza di numerosi volontari, con l'intenzione di offrire un riparo adeguato alla popolazione prima del sopraggiungere della stagione delle piogge. A conclusione del programma si raggiunse il completamento di 12˙250 Transitional Shelter, utilizzando circa 1,2 milioni di culmi di bambù.
Il costo del materiale necessario alla realizzazione di ogni Shelter fu di 260 CHF.

Tipologia di hazard tipici dell'area.

Terremoti, vento, inondazioni.

Analisi dello Shelter secondo i criteri tecnici:

a. Vivibilità

→ area di 4m x 6m, altezza interna minima 2 m.
→ É presente un soppalco adibito ad area notte, di dimensioni 4 x 2,5 m.
→ La suddivisione in zona giorno e notte permette maggior privacy.

b. Durabilità

→ 1-5 anni previsti.
→ Un ciclo di vita più lungo può essere ottenuto con alcune accortezze progettuali, ad esempio attraverso il trattamento dei culmi di bambù e la protezione degli stessi dall'umidità di risalita nelle fondazioni. Per strutture pensate per un ciclo di vita di più di un anno evitare di inserire il culmo di bambù nel calcestruzzo ma preferire l'inserimento di un elemento intermedio come una barra metallica.

c. Flessibilità

→ Nella concezione dello Shelter vi è il riutilizzo dei materiali per la realizzazione di una struttura permanente, ad esempio la struttura di legno può essere rimossa e parzialmente riutilizzata.
→ Al momento del trasferimento nell'abitazione permanente i transitional Shelter furono spesso trasformati in cucine, magazzini o piccoli negozi.
→ I beneficiari era incoraggiati nel seguire il progetto proposto, ma non forzati a farlo; alcune persone decisero di modificare o procedere autonomamente.
→ Nelle aree rurali la maggior parte dei Transitional Shelter venne utilizzata anche dopo la costruzione delle abitazioni permanenti, con funzioni di magazzino, o rifugio per il bestiame. In aree urbane densamente populate, come a Klaten, gli Shelter vennero demoliti.

d. Incrementabilità

→ Viene suggerita l'aggiunta di una coppia di colonne per supportare meglio i carichi propri e variabili (dovuti principalmente a vento e terremoti).

→ La fondazione potrebbe essere migliorata ampliando la sua estensione in larghezza o profondità.

→ Viene esclusa la possibilità di sostituire le pareti di tamponamento con materiali più resistenti, come i mattoni o blocchi di calcestruzzo, per il maggiore rischio sismico che comporterebbero.

e. Tempi di realizzazione

→ 3-4 persone in 3-4 giorni.

f. Possibilità di ampliamento

→ Non prevista.

g. Protezione dagli eventi catastrofici

→ L'abitazione è sopraelevata di 0,32 m rispetto al suolo per proteggere da inondazioni di bassa entità. È presente un muro di ridotte dimensioni a tamponare l'apertura e proteggere la struttura su tutti i lati.

→ La struttura è controventata con elementi longilinei di bambù su tutti i lati del modulo, inoltre la copertura è sorretta da travi reticolari. Questi elementi forniscono maggiore stabilità.

→ Il bambù ha ottime prestazioni sismiche grazie alla sua flessibilità e leggerezza.

→ Le tegole creano una copertura eccessivamente pesante, che rischia di causare un crollo più rapido dell'abitazione in caso di scosse sismiche. Se il rischio sismico non è presente la soluzione risulta adeguata a proteggere in modo ottimale dall'ingresso della pioggia.

→ La copertura a padiglione è adeguata alle sollecitazioni del vento, sebbene esso non sia la maggior minaccia nell'area.

h. Configurazione e materiali utilizzati

→ L'abitazione si compone di una struttura portante in bambù, fondazione in calcestruzzo, copertura a padiglione rivestita di tegole di terracotta. I pannelli di tamponamento sono in bambù intrecciato, il pavimento in elementi di bambù splittato.

→ Alcuni materiali furono recuperati dai detriti e riutilizzati.

→ Il bambù utilizzato è della specie Dendroclamus Asper e Gigantochloa Apus per la struttura, con diametro di 150 mm per la prima e 80 mm per la seconda. Il trattamento preservante non è stato previsto ma se ne consiglia l'utilizzo per strutture con previsione di vita superiore all'anno.

→ I materiali vengono reperiti localmente, contribuendo a sostenere l'economia locale.

→ Gli elementi strutturali sono connessi tramite spinotti di bambù e assicurati con legature in corda; gli elementi di copertura e i listelli di pavimento sono fissati con viti metalliche.

i. Adeguamento al contesto climatico

→ L'altezza interna è piuttosto elevata, vi è un buon ricircolo di aria, ulteriormente favorito dalla presenza di due finestre su ogni lato.

j. Adattabilità a diversi contesti geografici/culturali

→ La forma semplice e l'utilizzo del bambù lo rendono potenzialmente applicabile in numerosi Paesi.

k. Modalità di coinvolgimento della popolazione

→ è un Community-built Shelter: il processo si basa su modalità di partecipazione attiva e mutuo aiuto.

→ L'organizzazione internazionale lavorò con numerosi enti locali e volontari nazionali. Furono presenti anche studenti delle università dell'area. Il processo di *Recovery e Reconstruction* fu contraddistinto da una forte sinergia tra i diversi soggetti e la popolazione locale.

→ Fu erogato un percorso di formazione per la comunità della durata di 7 giorni, ove fu sperimentata la costruzione dello Shelter successivamente adottato. Fu redatto un manuale contenente indicazioni pratiche delle fasi e delle azioni da compiere durante il processo costruttivo e suggerimenti specifici nell'ottica *Build Back Safer* (UN-HABITAT 2008).

Figura 3. A) La struttura del Transitional Shelter; B) vista dell'abitazione completata; C) Roof first Concept; D) Pianificazione del processo; E) Materassini di bambù per le pareti; F) Vista dello spazio interno (Ranghieri e Ishiwatari 2014).

Caso studio 2. Transitional Shelter, CRS Haiti, Port Au Prince, Haiti 2010.

Descrizione sintetica dell'evento catastrofico.

Il 12 gennaio 2010 Haiti viene colpita da un terremoto magnitudo 7.3 sulla scala Richter che risulterà come uno dei disastri umanitari peggiori dell'epoca moderna. L'epicentro del sisma è collocato in prossimità della capitale del Paese, Port au Prince, che viene gravemente danneggiata, come anche le città di Jacmel, Léogâne, Grand Goâve, e Petit Goâve. L'impatto sulla popolazione è enorme, al collasso di edifici pubblici e privati si associa la morte di circa 260˙000 persone. La maggior parte degli abitanti lascia la propria casa, poiché distrutta o severamente danneggiata. Si stima che vennero distrutte più di 80˙000 abitazioni, e che circa 120˙000 subirono danni di grande entità. I danni materiali ad abitazioni e infrastrutture ammontano a 7,8 miliardi di dollari, dei quali 2,3 riconducibili al solo settore abitativo.

Descrizione sintetica del progetto.

Il programma prevede l'introduzione di Transitional Shelter al fine di facilitare l'adozione di soluzioni abitative più idonee rispetto alle tende fornite nella fase di emergenza. La protezione dall'ambiente esterno viene perseguita tramite Transitional Shelter in legno, maggiormente resistenti ma allo stesso tempo sufficientemente leggeri per resistere meglio a successive scosse sismiche. I Transitional Shelter sono pensati per accogliere la popolazione sino alla realizzazione di un alloggio definitivo. Sono inoltre progettati per coprire un arco temporale di 3-5 anni.
I beneficiari del programma sono stati coinvolti per tutto il periodo di compimento dell'opera: dalla fase di progettazione sino alla cantierizzazione e post-costruzione.

Tipologia di hazard tipici dell'area.

Terremoti, uragani con vento a 250 km/h (giugno-novembre), piogge forti (marzo-maggio), inondazioni nelle zone costiere.

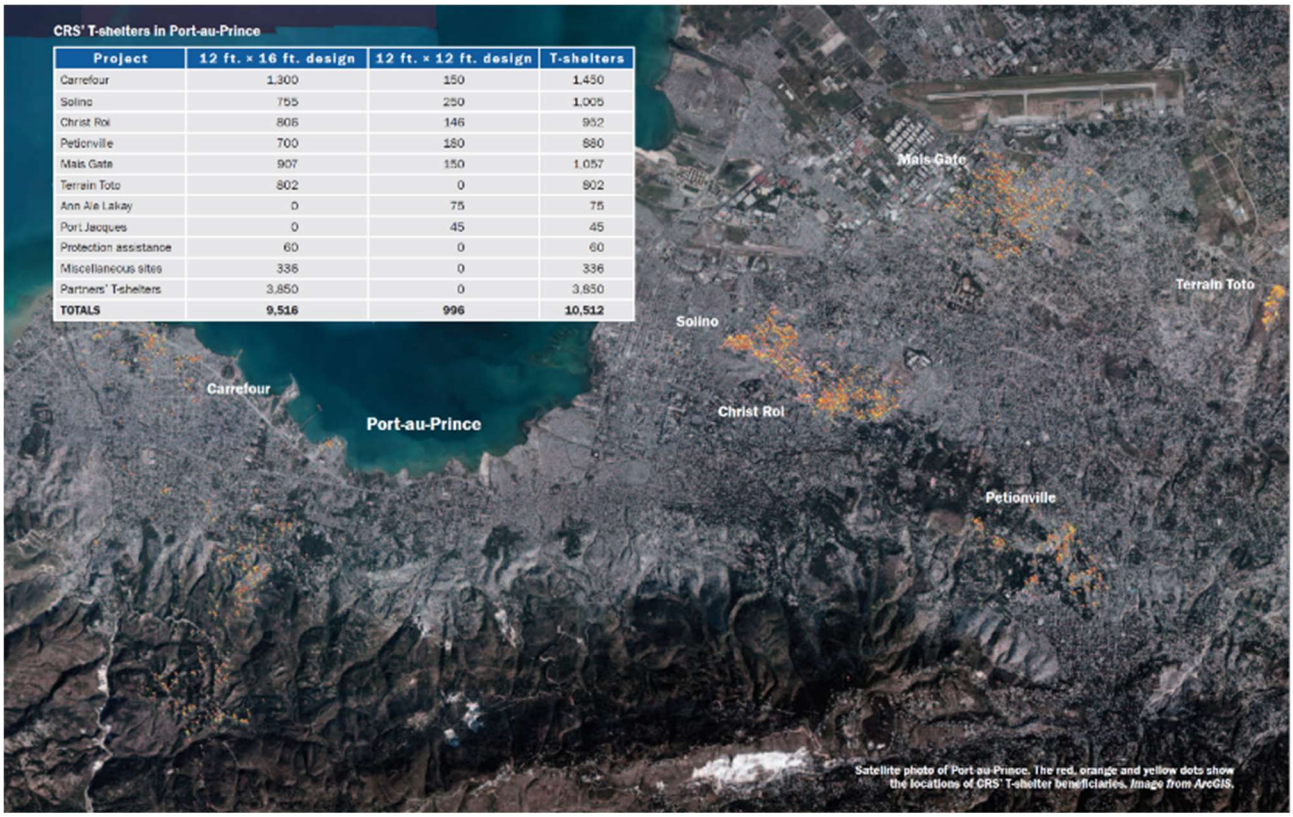


Figura 4. I numeri dello Shelter Response del Catholic Relief Services al terremoto di Haiti del 2010 (Hirano 2012).

Analisi dello Shelter secondo i criteri tecnici:

a. Vivibilità

→Tipologia A: lati di 3,65 m x 4,85 m, per un'area totale di 17,8 m^2; tipologia B: 3,65m x 3,65 m, per un'area totale di 13,32 m^2.

b. Durabilità

→ Pensati per un ciclo di vita dai 3 ai 5 anni, erano stati concepiti per dare alloggio fino alla ricostruzione di alloggi permanenti. Il legno è stato trattato con preservante atto a inibire l'attacco da parte di insetti e l'imputrimento. La sostanza utilizzata è priva di arsenico ed è a bassa tossicità.

c. Flessibilità

→ Gli Shelter vengono modificati a seguito delle esigenze osservate nel comportamento degli abitanti locali e dalle necessità dettate dalla conformazione del luogo.
→ Viene ripensata la suddivisione delle componenti per poter prefabbricare elementi con dimensioni ridotte, più facilmente trasportabili anche in vicoli molto stretti e ancora ostruiti da detriti. Inoltre gli elementi prefabbricati furono adattati alle dimensioni delle lastre standard di compensato, per evitare sprechi di materiale.
→ Viene ripensata la forma e la dimensione delle aperture di aerazione per contenere l'ingresso dell'acqua piovana, la parte porticata sul fronte principale viene tamponata con dei pannelli per renderla più sicura verso l'esterno.
→ In alcuni casi viene ridotta la dimensione dello Shelter per adeguarlo a plot di minori dimensioni.
→ I pannelli e il frame sono potenzialmente riutilizzabili per altri scopi, ad esempio per la realizzazione di una cucina esterna all'abitazione definitiva, una veranda, o per sviluppare una piccola attività commerciale (IASC 2010).

d. Incrementabilità

→ Viene sostenuta l'introduzione di pannelli solari, per alimentare l'illuminazione e le ventole di movimentazione dell'aria interna.
→ il sistema di fondazione prevede la sostituzione dei pannelli di tamponamento con blocchi di calcestruzzo nell'ottica di realizzare una abitazione più resistente (Hirano 2012).

e. Tempi di realizzazione

→ Gli Shelter vengono inizialmente assemblati sul luogo stabilito per la loro collocazione; a seguito di tempi di realizzazione dilatati rispetto alla previsione si procede dunque con la creazione di una officina temporanea dove vengono prefabbricate alcune componenti, più facilmente maneggiabili. Queste vengono poi assemblate direttamente in loco.
→ 40 Shelter prefabbricati ogni giorno, 30- 40 Shelter assemblati ogni settimana in ogni area.

f. Possibilità di ampliamento

→ Non prevista.

g. Protezione dagli eventi catastrofici

→ La soluzione tiene in considerazione il sopraggiungere della stagione degli uragani (da maggio/ giugno a novembre), prevedendo l'utilizzo di fascette metalliche galvanizzate per legare le travi di copertura alle pareti e le pareti alla fondazione, al fine di evitare che il tetto venga portato via dai moti del vento.
→ Il sistema include inoltre alcuni controventi per dare maggiore stabilità in caso di ulteriori scosse sismiche o forte vento.

→ Lo Shelter è pensato per essere resistente ai terremoti e agli uragani di categoria 1 (secondo la scala Saffir-Simpson).

h. Configurazione e materiali utilizzati

→ Tre frame in legno connessi da pannelli di tamponamento parzialmente rivestiti da uno strato di legno compensato impermeabilizzato.

→ Il fronte principale, inizialmente quasi completamente aperto e chiudibile attraverso teli cerati viene poi sostituito da pannelli apribili. Il lato lungo posteriore è opaco. I lati corti prevedono aperture.

→ Lo Shelter poggia su un solaio di calcestruzzo e fango ed è sorretto da sei piedistalli di fondazione, che fungono da ancoraggio a terra in caso di vento forte.

→ La copertura è in pannelli di lamiera zincata ondulata.

→ La gran parte dei materiali sono importati a causa della scarsa presenza di legno sull'isola e della quantità richiesta molto elevata (10˙512 Shelters realizzati). Successivamente vengono impiegate anche risorse locali provenienti da differenti produttori (Hirano 2012).

i. Adeguamento al contesto climatico

→ L'abitazione ha aperture su tre lati per favorire la ventilazione incrociata.

→ La copertura ha uno sporto sufficiente a prevenire l'ingresso della pioggia.

→ I lati corti prevedono aperture al di sotto della copertura per favorire l'ingresso della luce e la fuoriuscita dell'aria calda.

j. Adattabile a diversi contesti geografici/culturali

→ La soluzione progettuale ripropone un'opzione di Shelter già testata in Sri Lanka dopo lo tsunami del 2004.

→ In questa versione è riproponibile in contesti che abbiano un clima mite, ma potenzialmente potrebbe includere strati atti a isolare maggiormente l'ambiente interno e renderlo adeguato ad altre temperature.

k. Modalità di coinvolgimento della popolazione

→ Gli abitanti vengono coinvolti nel processo di prefabbricazione e assemblaggio delle unità abitative.

La loro partecipazione viene sostenuta anche grazie al programma *Rubble to Reconstruction*, volta a fornire alle persone opportunità di impiego attraverso la rimozione dei numerosi detriti e il riutilizzo delle materie prime per la costruzione di altri Shelter; per essa viene prevista una formazione specifica.

→ Gli abitanti ricevono un manuale di manutenzione prodotto da CRS, *Caring for Your Transitional Shelter: Essential Advice for Maintaining Your T-shelter.* Esso contiene indicazioni pratiche su come mantenere lo Shelter in buono stato sino al completamento del suo ciclo di vita, includendo procedure di protezione dall'acqua, dal vento e dagli insetti.

Inoltre esso funge anche da manuale di trasmissione di buone pratiche per la *Disaster Risk Reduction (DRR)*, includendo ad esempio norme di comportamento in caso di uragano o frana.

Il manuale è inoltre strumento per diffondere il corretto utilizzo dello Shelter e delle sue componenti nell'ottica Transitional: fornisce istruzioni pratiche per lo smontaggio e il ricollocamento dello Shelter in altro contesto, integrando anche la possibilità di costruire una abitazione più permanente.

Figura 5. A) Lo Shelter nella sua versione originale; B) Lo Shelter dopo la modifica delle finestre attuata per garantire l'aerazione ma prevenire l'ingresso dell'acqua piovana; C) Rubble to reconstruction; D) Parziale chiusura del portico con i teloni cerati; E) Uno dei centri di prefabbricazione; F) Trasporto delle pareti prefabbricate; G) Assemblaggio del frame; H) Densitò degli Shelter in area urbana (Hirano 2012).

2.3.2 Core House

Caso Studio 3. Core House, Santo Development Project in Léogâne, Haiti, 2010.

Descrizione sintetica del progetto.

Il progetto *Santo Development Project in Léogâne* realizza una comunità per le famiglie di Haiti le cui abitazioni sono state distrutte dal terremoto del 12 gennaio 2010. Essa si sviluppa su un'area di 14 ettari messa a disposizione dal governo del Paese.
Il progetto è stato finanziato in larga parte dalle donazioni del *Multilateral Investment Fund dell'Inter-American Development bank* e da altri enti.
La realizzazione del progetto si è basata sulla filosofia dell'imparare facendo e del coinvolgimento diretto della popolazione destinataria delle Core Houses. I processi partecipativi erano finalizzati alla creazione di una comunità coesa, che si sviluppasse parallelamente alla costruzione del nucleo abitato (*community based approach*). Le famiglie sono per questo state formate nelle tecniche di costruzione, alla prevenzione, alla sicurezza, alla riduzione dei rischi e alla governance.
Il progetto è il risultato della collaborazione tra *Architecture for Humanity* e la comunità destinataria dello stesso, che ha previsto inizialmente circa 300 famiglie. Insieme alle singole unità abitative, il progetto ha previsto la costruzione di aree gioco, un mercato, una scuola, spazi verdi e punti di raccolta acqua; è stata inoltre installata illuminazione a energia solare delle strade. Sono state sviluppate strategie atte a offrire occasioni lavorative agli abitanti, con lo scopo di sostenere la loro *self-maintenance*.
Nel corso del 2012 (anno di realizzazione del progetto) il numero di Core House fornite di latrine è cresciuto dalle 155 unità inizialmente previste alle 255; il numero di lavoratori assunti è cresciuto dai 267 ai 542 membri della comunità; il numero di individui formati alla prevenzione, alla sicurezza, alla riduzione dei rischi è cresciuto da 429 a 529; il numero di individui formati alla governance è cresciuto da 120 a 150.
Un report redatto dalla stessa HFHH nel 2018 comunica il prosieguo del progetto: le Core House hanno rappresentato il primo fondamentale step verso la realizzazione di abitazioni permanenti.

Tipologia di hazard tipici dell'area.

Terremoti, uragani con vento a 250 km/h (giugno-novembre), piogge forti (marzo-maggio), inondazioni nelle zone costiere.

Analisi dello Shelter secondo i criteri tecnici:

a. Vivibilità
   → Area di 26 m^2.
   → L'abitazione si compone di una camera da letto, un portico tradizionale sul fronte principale e un modulo per la latrina e la doccia separato dall'abitazione.
   → Il portico permette la creazione di uno spazio privato ma aperto, in diretto contatto con la vita della comunità.

b. Durabilità
   → dai 3 ai 9 anni.

c. Flessibilità
   → Il portico nella parte anteriore viene spesso annesso alla casa o convertito in spazio per piccole attività di vendita.
   → Lo spazio interno può essere diviso in due stanze di minor dimensioni.

d. Incrementabilità
   → L'ampliamento della profondità del portico risulta una soluzione praticabile, sebbene non esplicitamente prevista dal progetto.

e. Tempi di realizzazione

→ Il *Community engagement* e la progettazione cominciarono nei primi mesi del 2011; la costruzione delle prime 160 abitazioni fu completata a maggio del 2012. Nel febbraio 2013 furono realizzate le 300 case e latrine previste.

f. Possibilità di ampliamento

→ L'organizzazione interna del modulo abitativo è pensata per una eventuale espansione sul retro, a seconda delle necessità del nucleo familiare.

g. Protezione dagli eventi catastrofici

→ La fondazione è in calcestruzzo per prevenire il sollevamento del modulo a causa del vento.
→ I pannelli di tamponamento in fibrocemento hanno una buona resistenza meccanica, sufficiente per resistere a venti non troppo elevati.

h. Configurazione e materiali utilizzati

→ La struttura ha una fondazione permanente in calcestruzzo, un telaio di legno e pannelli di tamponamento in fibrocemento per le pareti esterne, il tetto è in lamiera grecata metallica.
→ A causa della collocazione dell'insediamento al di fuori del centro urbano, non vi era possibilità di allaccio alla rete elettrica, idrica e fognaria. Si introducono quindi sistemi *off-grid*: ogni unità abitativa prevede una gestione autonoma dei rifiuti umani; sono installati pannelli solari e metodi di raccolta dell'acqua piovana.

i. Adeguamento al contesto climatico

→La presenza del portico garantisce zone d'ombra in alcune ore della giornata.
→ I pannelli di tamponamento in fibrocemento sono resistenti agli agenti atmosferici.
→ La presenza di finestre su più lati favorisce la ventilazione incrociata. Alcune finestre inoltre prevedono un'apertura a sporgere, garantendo il ricambio d'aria senza favorire l'ingresso dei raggi solari.

j. Adattabilità a diversi contesti geografici/culturali

→ La casa risulta culturalmente appropriata al contesto di Haiti.

k. Modalità di coinvolgimento della popolazione

→ Il progetto di masterplan e il design dell'abitazione viene condotto da Habitat for Humanity Haiti con il coinvolgimento degli abitanti, stimolati attraverso processi partecipativi e workshop lanciati da Architecture for Humanity.
→ Vengono realizzati anche servizi per la comunità, quali un mercato e delle latrine pubbliche, oltre alla costruzione di punti di raccolta dell'acqua piovana. Per maggiore sicurezza vengono installati lampioni alimentati tramite pannelli solari.
→ Agli abitanti vengono offerte opportunità lavorative, sia nella costruzione delle abitazioni sia nel campo dell'agricoltura e piccolo commercio. Vengono attuati percorsi di formazione, sia sul piano tecnico specializzato sia sul piano della prevenzione del rischio.

Figura 6. Figura 5. A) Vista sull'insediamento; B) Realizzazione: è visibile il rivestimento in fibrocemento per la porzione inferiore delle pareti; C) Fronte principale dell'abitazione; D) Il sistema di toilette, separato dall'abitazione; E) Fissaggio del telaio della capriata lignea;; F) Vista interna di uno Shelter (https://www.stonesoupcartoons.com/2011/11/haiti-part-2-the-build.html).

Caso Studio 4. Core House, Ciclone Sidr, Bangladesh, 2007.

Descrizione sintetica dell'evento catastrofico.

Il ciclone Sidr colpì la costa sud ovest del Bangladesh il 15 novembre 2007. Più di 450 000 abitazioni furono distrutte a causa del vento, delle inondazioni e del maremoto. Più del 50% delle abitazioni nei distretti maggiormente offesi furono abbattute o gravemente danneggiate.
La maggior parte delle famiglie costruì Shelter di emergenza nelle quattro settimane successive, ad eccezione dei nuclei con persone più vulnerabili.
La Shelter Response fu attuata grazie al coinvolgimento di 160 organizzazioni locali e internazionali.

Descrizione sintetica del progetto.

Il progetto prevede di fornire 1˙250 Shelter per i nuclei familiari in maggiore difficoltà. Si introduce una strategia basata sul concetto di Build Back Better, ovvero il Core Shelter. La soluzione si fonda sulla costruzione di una piccola abitazione realizzata in materiali resistenti ai cicloni; essa può prevedere l'aggiunta di spazi di magazzino, verande e stanze extra in fasi successive. La costruzione dei Core Shelter viene realizzata dagli appaltatori; le famiglie vengono supportate attraverso alcuni momenti di formazione per il mantenimento e la riparazione, finanziamenti in denaro e fornitura di kit per l'ampliamento dello Shelter.
L'approccio progressivo consente di ridurre la vulnerabilità dei beneficiari nei confronti di futuri disastri naturali (Government of Bangladesh 2008). Il costo di ogni Core shelter si aggira intorno ai 1600USD (Shelter Project 2009).

Tipologia di hazard tipici dell'area.

Le zone costiere del Paese sono caratterizzate da alto rischio di cicloni da settembre a maggio, con un picco intorno al mese di gennaio. Il verificarsi di inondazioni è piuttosto frequente in prossimità dei corsi d'acqua e dei loro delta. Il rischio sismico è più elevato nelle zone interne del Paese e nella costa orientale.
Il territorio è colpito anche da condizioni di siccità, causate da condizioni sempre più estreme durante la stagione secca.

Analisi dello Shelter secondo i criteri tecnici:

a. Vivibilità

→ 15m^2 di area abitabile a causa della limitata disponibilità di terreno.
→ L'altezza dello Shelter permette al nucleo familiare di estendersi in tutte le direzioni.
→ Non è prevista la costruzione di una toilette di pertinenza di ogni nucleo, ma viene curata l'accessibilità ai servizi di base attraverso altri programmi (UN-HABITAT 2010).

b. Durabilità

→ Il ciclo di vita previsto è tra i 2 e i 5 anni (IFRC 2013).
→ I pilastri in calcestruzzo armato e la struttura di acciaio della copertura sono realizzate in materiali durevoli; il loro deterioramento non dovrebbe compromettere la vita utile dello Shelter. Il frame in legno e i pannelli in bambù devono probabilmente essere sostituiti poiché non sono trattati.

c. Flessibilità

→ Lo Shelter è pensato sia per diventare essere abitazione permanente sia per essere smantellato al fine di riutilizzare alcune sue componenti.
→ Le pareti in bambù intrecciato risultano molto convenienti e sostenibili. Inoltre sono facilmente sostituibili o riparabili. Al contempo risultano poco resistenti al vento forte: in caso di ciclone di grande entità si prevede che vengano portate via dal vento; in caso contrario la loro pressione sulla struttura portante potrebbe causare danni più ingenti.
→ Lo Shelter può essere facilmente smantellato svitando le colonne e la struttura della copertura; i materiali possono essere riutilizzato all'interno della ricostruzione di una abitazione permanente.

d. Incrementabilità

→ La correa di legno può prevedere la realizzazione di un solaio ed aumentare dunque la superficie utilizzabile dagli abitanti. È stato previsto un carico variabile di 1kPa/m^2.

→ Alcuni Shelter vengono dotati di un sistema di filtrazione a sabbia e di una latrina a fossa.

→ Possibilità di inserimento di elementi di controventatura, previo controllo della rispondenza del sistema di fondazione. I terreni ghiaiosi o sabbiosi sono adeguati alla fondazione proposta, suoli limosi o argillosi devono invece prevedere una profondità maggiore, di almeno 2 m.

→ Possibilità di realizzazione di pilastri di sezione più grande, al fine di migliorare le prestazioni meccaniche.

e. Tempi di realizzazione

→ 5 giorni con un team di 3-4 persone (IFRC 2013).

→ I pannelli di tamponamento in bambù vengono assemblati direttamente sul sito di costruzione e poi issati sulla struttura portante tramite cavi metallici.

f. Possibilità di ampliamento

→ Il programma prevede il supporto delle famiglie nell'ampliamento dei loro Shelter. Molte famiglie ne usufruiscono e allargano la superficie utile con differenti configurazioni.

g. Protezione dagli eventi catastrofici

→ La fondazione in calcestruzzo garantisce un buon ancoraggio a terra dello Shelter, ulteriormente incrementato dalla presenza del basamento in mattoni.

→ La correa di legno permette la creazione di un soppalco, utile per lo stoccaggio di beni materiali o per ripararsi in caso di inondazione.

→ Il tetto a padiglione con ampia inclinazione permette una miglior resistenza ai venti forti.

→ La struttura è resistente alle scosse sismiche.

→ L'elevazione del modulo abitativo dal suolo permette di evitare i rischi derivanti dalle inondazioni.

h. Configurazione e materiali utilizzati

→ Il Core Shelter è costruito su una platea di fango per proteggerlo dalle inondazioni.
La struttura è composta da otto pilastri di calcestruzzo armato, con una fondazione profonda 1,5 m. Sono presenti controventi per migliorare la risposta alle sollecitazioni del vento. Le pareti si sviluppano a partire da un basamento di mattoni per poi proseguire con dei tamponamenti leggeri in fibre di bambù intrecciate.

→ La copertura a padiglione è sostenuta da travi reticolari in acciaio, connesse ai pilastri attraverso connessioni rigide. I pannelli di rivestimento del tetto sono fissati secondo le tecniche di giuntura resistenti ai cicloni.

→ Lo Shelter include una correa di legno a due metri di altezza.

→ I materiali provengono per la maggior parte da fonti interne al Paese, ad eccezione della lamiera grecata che è stata importata dal Giappone per sopperire alla difficile reperibilità dello spessore adeguato (Shelter Project 2009).

i. Adeguamento al contesto climatico

→ Lo Shelter presuppone un'altezza interna molto elevata e garantisce dunque una temperatura migliore nell'ambiente interno (IFRC 2013).

→ Il basamento di mattoni previene il deterioramento del bambù che potrebbe realizzarsi a causa della pioggia di traverso e dell'umidità di risalita.

j. Adattabilità a diversi contesti geografici/culturali

→ I materiali utilizzati sono sufficientemente reperibili, sebbene sia necessario un controllo accurato della loro qualità e della loro messa in opera, in particolar modo dei giunti metallici, delle staffe e della materia prima per il calcestruzzo.

→ Le tecniche utilizzate sono semplici ad eccezione della struttura reticolare a sostegno della copertura, che richiede abilità specifiche.

k. Modalità di coinvolgimento della popolazione

→ Viene fornito ai benificiari un kit per il miglioramento e l'ampliamento dello Shelter.

Figura 7. Bangladesh 2009: A) Shelter completato; B) Struttura portante e copertura; C) e D) Shelter ampliati dai nuclei familiari; E) e F), Shelter di emergenza costruiti autonomamente dalla popolazione.

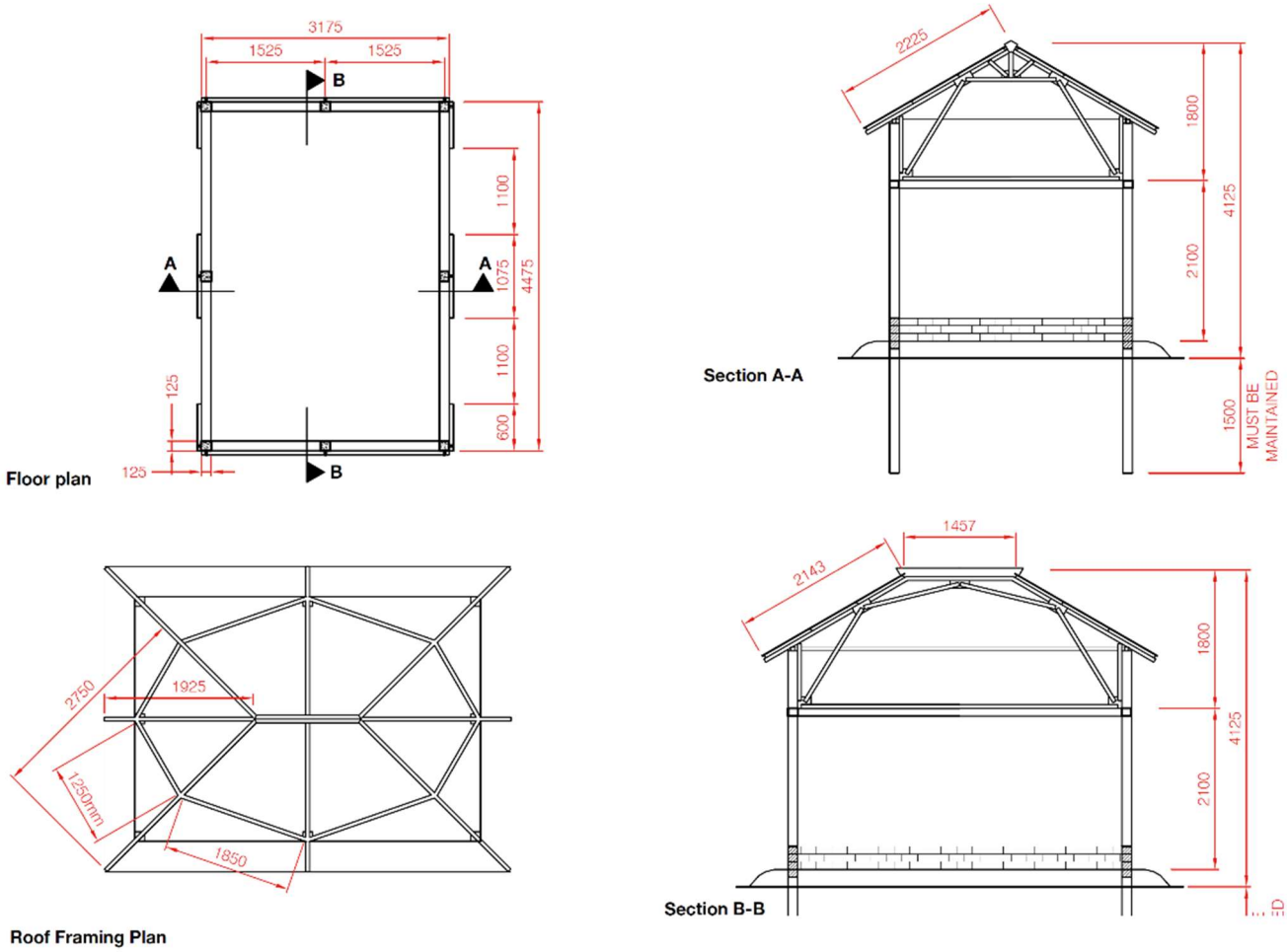


Figura 8. Disegni tecnici di progetto (IFRC 2013).

Caso Studio 5. Core House, Tifone Haiyan, Filippine, 2013.

Descrizione sintetica dell'evento catastrofico.

In data 8 novembre 2013 il tifone Hayan, conosciuto anche come tifone Yolanda, uno dei più forti tifoni tropicali mai registrati, si è scatenato sulla regione di Visayas, in particolare nella provincia di Samar orientale, nelle Filippine; successivamente il tifone si abbatte anche sull'isola di Leyte, sull'isola di Cebu, sull'isola di Panay, sule isole Calamian e sulla provincia di Palawan.
I venti causati dal tifone hanno raggiunto velocità comprese tra i 315 e i 380 Km/h. Nel complesso, Hayan ha causato 6300 vittime, 28˙000 feriti e ha danneggiato più di 16 milioni di individui. Più di 4 milioni di persone hanno perso la propria dimora, sono state distrutte o gravemente danneggiati più di 1,1 milioni di abitazioni e gli impatti economici stimati superano i 12,9 miliardi di dollari.

Descrizione sintetica del progetto.

L'organizzazione si focalizza su tre municipalità colpite duramente dal cataclisma: Bantayan, Madridejos and Santa Fe a nord dell'isola di Cebu. Qui il 93 % delle abitazioni erano state distrutte o severamente danneggiate, a causa della bassa maestria e di una manutenzione insufficiente. Per questo motivo si propose la costruzione di 1200 Core House, focalizzandosi sulle fasce di popolazione più vulnerabili. Le Core House proposte si configuravano come abitazioni a lungo termine resistenti a terremoti e tifoni. Il progetto mise in pratica un *owner-driven approach*, al fine di consentire ai beneficiari di valutare autonomamente le proprie priorità e procedere nella presa di decisioni, grazie alla guida e al supporto tecnico delle organizzazioni.
Il Progetto fornì percorsi di formazione sul tema delle misure di riduzione del rischio di disastri (*DDR measures*) e mirò a sviluppare competenze specifiche sulle tecniche di costruzione, sul management finanziario e del progetto. Inoltre puntò a rinsaldare i legami di comunità attraverso la cooperazione e meccanismi di supporto.
Il costo di realizzazione di ogni Core House fu di 2˙642 USD (Global Shelter Cluster 2019).
Molte famiglie non avevano stato giuridico o atti di proprietà dei terreni. Per questo motivo vennero stipulati dei contratti di usufrutto con i proprietari dei terreni per una durata minima di 10 anni.

Tipologia di hazard tipici dell'area.

Elevato rischio di tifoni e terremoti, possibilità di inondazioni sulle aree costiere.

Analisi dello Shelter secondo i criteri tecnici:

a. Vivibilità
   - → 17.5–21m^2 per il Core, 24m^2 includendo la toilette.
   - → La soluzione integra i servizi igienici.
   - → Si compone di 2 stanze.

b. Durabilità
   - → Secondo le previsioni degli ingegneri responsabili del progetto il modulo principale garantirebbe un funzionamento ottimale per 20 anni.
   - → Il modulo aggiuntivo ha un ciclo di vita di 10 anni.

c. Flessibilità
   - → L'abitazione è flessibile e permette di apportare estensioni o aggiustamenti a seconda dei bisogni del nucleo abitante, come ad esempio la forma e la posizione di porte, finestre e portico.
   - → In linea con le normative nazionali sull'accessibilità sono state pensate alcune varianti per garantire una soluzione adeguata anche a persone con disabilità fisiche.

d. Incrementabilità

→ La struttura in legno di cocco e i pannelli leggeri di tamponamento possono essere sostituiti facilmente o adattati alle esigenze. In questo modo molti modificarono il layout della facciata o costruirono estensioni per una piccola cucina o soggiorno.

e. Tempi di realizzazione

→ Dalle 3 alle 4 settimane, con un sostanziale guadagno rispetto alla previsione (6 settimane).

f. Possibilità di ampliamento

→ L'abitazione permette estensioni in pianta.

g. Protezione dagli eventi catastrofici

→ La struttura è progettata per resistere ai carichi sismici sino a scosse di entità 7,2 sulla scala Richter e per carichi del vento sino a 200 km/h.

h. Configurazione e materiali utilizzati

→ La struttura è ibrida, composta da blocchi ICEB (blocchi di terra compressa ad incastro) e legno. Risulta essere sufficientemente economica, duratura e strutturalmente solida. Essa richiede inoltre tecniche costruttive semplici.
Il modulo aggiuntivo viene realizzato con materiali più leggeri: legno di cocco trattato per la struttura e pannelli di tamponamento in amakan. Esso è comunque resistente agli *hazard* tipici dell'area.
→ I blocchi sono prodotti prevalentemente con materiali locali.
→ I materiali vengono forniti da produttori locali.
→ Il trasporto dei materiali richiede talvolta il finanziamento da parte delle organizzazioni internazionali.

i. Adeguamento al contesto climatico

→ Il legno viene trattato per essere protetto dall'attacco delle termiti.
→ Viene favorita la creazione di finestre di dimensioni ampie e ad altezza uomo.

j. Adattabilità a diversi contesti geografici/culturali

→ Il design della abitazione si sviluppò dalla organizzazione interna della tipica casa rurale, che solitamente include una stanza principale privata e una ulteriore stanza utilizzata come spazio condiviso.

k. Modalità di coinvolgimento della popolazione

→ I beneficiari del progetto gestirono la costruzione della loro abitazione, occupandosi anche del reperimento di alcuni materiali, dell'ingaggio dei manovali e la supervisione dei lavori. Spesso furono le donne a gestire il processo di costruzione. Vengono creati dei gruppi di lavoro ove i beneficiari possono confrontarsi e aiutarsi vicendevolmente.
→ Gran parte della popolazione mostrò interesse al percorso di formazione mirato all'acquisizione di competenze costruttive specifiche anche grazie alla possibilità di ottenere un brevetto che certificava la preparazione, spendibile per successivi lavori in tutte le Filippine.

Figura 9. A) Core House in construzione; B) L'abitazione completa; C) Vista dall'interno della parete di tamponamento.

2.3.3 Semi-permanent Shelter

Caso Studio 6. Semi-permanent Shelter, Aceh, Indonesia, 2004.

Descrizione sintetica dell'evento catastrofico.

Il 26 dicembre 2004 un terremoto originato dalla faglia di Giava causò un forte tsunami, che si abbattè sulle coste di diversi Paesi, tra cui India, Sri Lanka, Thailandia e Indonesia. La provincia di Aceh subì forti conseguenze, poichè collocata nel nord dell'isola indonesiana di Sumatra. In questa regione si contarono 167˙000 persone morte o disperse e più di 500˙000 sfollate, oltre alla devastazione di 800 km di costa.
L'impatto della catastrofe fu di enorme portata anche a causa della scarsa capacità di recovery dell'area, piegata da una guerra civile durata 30 anni e una delle zone più povere del Paese.
252˙000 abitazioni furono distrutte o parzialmente danneggiate entro i 5 km dalla costa.

Descrizione sintetica del progetto.

Una organizzazione internazionale agì in sinergia con una rete di 22 organizzazioni locali. Alla distribuzione di *Non Food Item* seguì la realizzazione dei Transitional Shelter. Furono costruiti più di 27˙000 Shelter. Grazie alla diffusione capillare delle organizzazioni locali sul territorio fu possibile procedere con grande rapidità, fornendo materiali da costruzione e supporto tecnico su grande scala.
Gli Shelter furono inizialmente realizzati in frame in legno, con un chiaro riferimento formale all'abitazione tradizionale; successivamente vennero sostituiti dall'introduzione di una abitazione realizzata in calcestruzzo e mattoni, a causa del difficile reperimento di legname e delle problematiche per garantire standard elevati nella qualità del legno utilizzato. La variazione verso una soluzione abitativa duratura fu incoraggiata dall'amministrazione di Aceh (UN-HABITAT 2009).

Tipologia di hazard tipici dell'area.

Terremoti e tsunami.

Analisi dello Shelter secondo i criteri tecnici:

a. Vivibilità

→ Inizialmente fu prevista una dimensione di 36 m^2, ampliata a 45 m^2 in alcuni casi.
→ Tipicamente include tre stanze: un grande spazio a soggiorno e due stanze più piccole.
→ L'abitazione prevede un bagno nell'area retrostante, annessa al resto dello Shelter.
→ Tutte le case hanno accesso alla rete elettrica e all'acqua corrente, la preparazione dei cibi avviene su fornelli a gas.

b. Durabilità

→ Superiore ai 9 anni.

c. Flessibilità

→ La pianta dell'abitazione venne modificata dalle organizzazioni internazionali per proporre soluzioni più adeguate a plot di piccole dimensioni (Da Silva 2010).

d. Incrementabilità

→ Non prevista.

e. Tempi di realizzazione

→ Non indicati.

f. Possibilità di ampliamento

→ Alcuni abitanti ritennero insufficiente lo spazio per cucinare e ampliarono l'abitazione per creare un'area più adeguata. Talvolta utilizzarono il loro Temporary Shelter per adibirlo a cucina o magazzino.

g. Protezione dagli eventi catastrofici

→ L'abitazione ha forma compatta e simmetrica.
→ Il tetto ha due falde inclinate, risulta quindi mediamente resistente al vento.

h. Configurazione e materiali utilizzati

→ Struttura in calcestruzzo e pareti di tamponamento in mattoni.
→ La copertura è sorretta da un frame in legno.

i. Adeguamento al contesto climatico

→ La presenza di un portico fornisce uno spazio aperto protetto dalla pioggia e dai raggi solari diretti.
→ Il tamponamento in mattoni garantisce una buona inerzia termica, il che si riverbera su una migliore temperatura interna.
→ è previsto un soffitto al di sotto della lamiera grecata di rivestimento della copertura.

j. Adattabile a diversi contesti geografici/culturali

→ Appropriata all'applicazione in diversi contesti previo controllo dei costi di realizzazione.

k. Modalità di coinvolgimento della popolazione

→ Se inizialmente i Transitional Shelter prevedevano il coinvolgimento della comunità con la logica del self-build, successivamente l'abitazione venne realizzata dai General Contractors, per questo motivo la popolazione spesso non acquisì le competenze adeguate a provvedere autonomamente all'ampliamento della propria abitazione.

Figura 10. Shelter completati: piccole variazioni dovute alla realizzazione da parte di differenti General Contractors.

Dalla definizione delle diverse tipologie affrontata nel paragrafo 2.2 e dai casi studio analizzati si osservano dei **tratti comuni e delle differenze**.
Tutti gli approcci si caratterizzano come **adattabili** a diversi contesti geografici e culturali e sostengono, ove possibile, **l'utilizzo di materiali locali** nonché la valorizzazione di abilità e tecniche costruttive autoctone. Essi si basano inoltre sul concetto di **incrementabilità**, poiché tengono conto della variazione dei bisogni e delle possibilità della persona durante i periodi di *Response*, *Recover*y e *Reconstruction*. Prevedono inoltre, sin dallo scoppio della crisi, uno **sguardo a lungo termine** e incentivano il self-recovery nel tempo.
Le strategie presentate si differenziano invece per numerosi altri aspetti, talvolta nella concezione delle modalità di supporto da fornire alle popolazioni colpite e nelle forme di coinvolgimento, talvolta per le caratteristiche specifiche delle soluzioni tecniche adottate, quali **durabilità**, **flessibilità, possibilità di ampliamento e tempi di realizzazione**.

3. IL BAMBÙ COME OPPORTUNITÀ

3.1 Caratteristiche del bambú

Il capitolo corrente si focalizza sul materiale principale adottato all'interno del progetto: il bambù.
Esso viene presentato per le peculiarità che lo contraddistinguono e per le caratteristiche fisiche e meccaniche che lo rendono una risorsa ampiamente sfruttabile nell'ambito delle costruzioni.
Vengono inoltre trattate le problematiche specifiche, alle quali è possibile rispondere con accortezze progettuali e soluzioni tecniche, maturate sin dai primi utilizzi del bambù in ambito rurale.

3.1.1 Generalità della pianta

Il bambù appartiene alla famiglia delle Graminacee ed è comunemente distinto in due grandi gruppi: quello dei bambù erbacei, *Olyreae*, dalla consistenza tenera, e quello dei bambù legnosi, *Bambuseae*; contraddistinti da un fusto rigido.
Il bambù è diffuso in tutto il mondo con 1400 specie diverse, tra i quali i bambù legnosi rappresentano la maggioranza con circa 1290 specie. Il più recente sistema di classificazione colloca i 67 generi di bambù legnosi in 9 sottotribù, principalmente dipendenti dalla variabilità della fioritura.
Per quanto concerne la diffusione della pianta nel mondo è significativo riportare che le foreste di bambù occupano 14 milioni di ettari tra Asia, Africa e America Latina e rappresentano l'1% dell'intera superficie boschiva della Terra (Cardenas 2008). Attualmente la pianta si sviluppa in quasi tutti i Paesi della zona tropicale e sub-tropicale, con una maggior concentrazione nella fascia compresa tra il 51° Nord di latitudine del Giappone sino al 47° Sud dell'Argentina.
Essa cresce in aree di altitudine molto diversa, dal livello del mare sino ai 4000 m.
Le prime tracce che certificano l'utilizzo del bambù da parte dell'uomo risalgono alla Cina del periodo preistorico (Hidalgo 2003), e non è perciò un caso che il continente asiatico sia contraddistinto dal proliferare di una pluralità singolare di varietà spontanee.
Anche in America Latina sono presenti specie autoctone, similmente in Africa ed Oceania, sebbene con un minor numero di esemplari.
Nei Paesi della zona temperata il quadro è invece molto differente: la mancanza di specie indigene è accompagnata però da una modesta proliferazione di varietà capaci di adattarsi ad aree più fredde e piovose come quelle dell'Europa centrale. Il bambù si prefigura quindi come una specie ampiamente diffusa, che può crescere in foreste caldo-umide così come in presenza di temperature sino ai -20°C o precipitazioni dagli 800 ai 1300 mm annui (Yeasmin, Ali, Gantait, Chakraborty 2013).

Una pianta di bambù si sviluppa con una rapidità sorprendente se comparata alla crescita di un albero. La maggior parte delle specie cresce entro un range che va dai 7,5 ai 40 cm al giorno, ma vi sono specie in grado di allungarsi sino ad 1,20 m al giorno (Phanratanamala 2014). Per questa ragione, oltre che per il suo efficiente contributo nell'eliminazione di gas inquinanti dall'atmosfera e nella riduzione dei fenomeni di erosione dei suoli, è considerato una delle risorse rinnovabili più sostenibili.

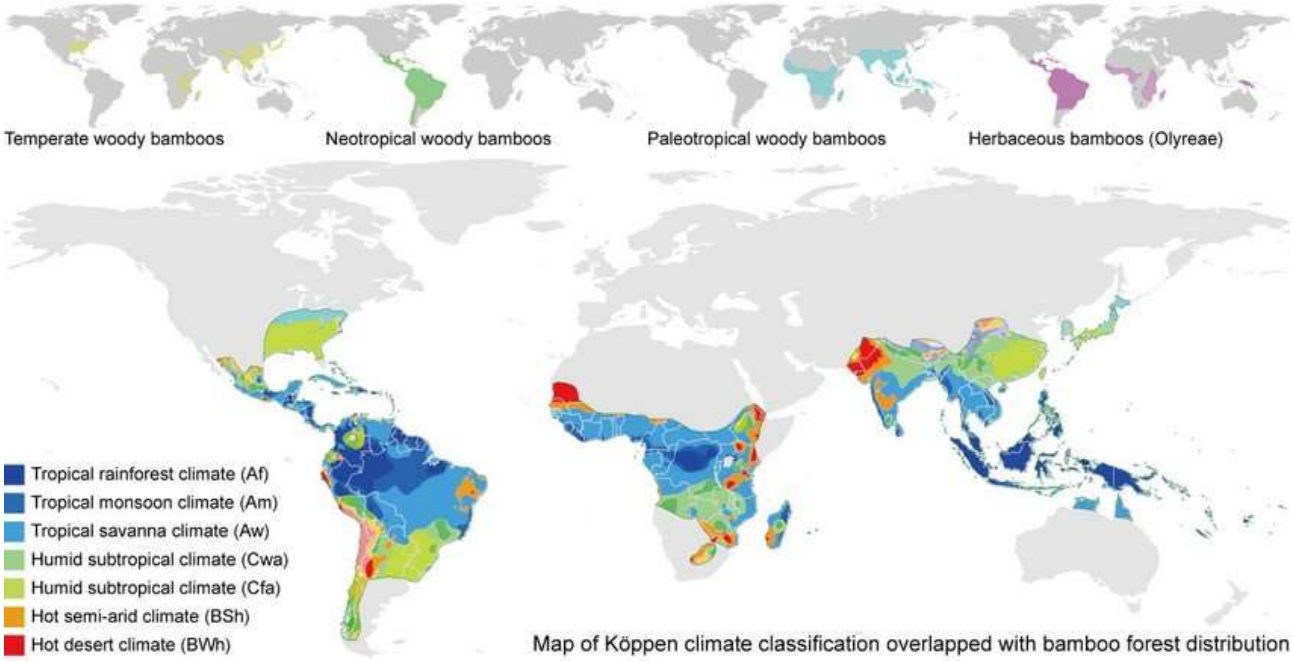


Figura 11. Correlazione tra la diffusione dei bambù erbacei e legnosi e la classificazione climatica (Zujian Huang et al 2017).

Le specie di bambù **adatte ad un uso strutturale** sono diverse in ogni continente (Hidalgo 2003). Tra le più conosciute vi sono la Guadua Angustifolia nativa dell'America Latina, la Phyllostachys Edulis o Moso, originaria dell'Asia ma diffusa attualmente anche in Europa e America del Nord, la Phyllostachys Bambusoides, o Madake, proveniente della Cina e ampiamente sfruttato in Giappone nel settore delle costruzioni e dell'artigianato, la Dendrocalamus, diffusa nel subcontinente indiano, in Cina e nel sud-est asiatico.
Sia la specie Edulis che Bambusoides sono in grado di resistere a basse temperature sino ai -10°C, e risultano perciò adatte alla coltivazione nell'area settentrionale della penisola italiana.

In linea di principio le specie di bambù tradizionalmente utilizzate per le costruzioni tendono ad avere le seguenti caratteristiche:

- Crescono in abbondanza a livello locale;
- Sono più robuste di altre specie presenti localmente;
- Hanno un diametro largo, dai 50 ai 200 mm;
- Crescono tendenzialmente dritte;
- Maturano velocemente, dai 3 ai 5 anni;
- Risultano leggermente più resistenti agli insetti e ai funghi grazie ad un ridotto contenuto di amido;
- Sono meno suscettibili allo splitting.

Le precedenti caratteristiche si declinano nella pratica in **proprietà fondamentali**, che devono caratterizzare il bambù scelto per uso strutturale.

- Densità del culmo asciutto: 500-800 kg/m^3;
- Altezza del culmo prima del taglio: 5-25 m;
- Lunghezza internodo: 250-500 mm;
- Diametro: 50-200 mm;
- Modulo elastico E: ~7000–17000 N/mm^2;
- Spessore di parete: 10% del diametro.

Scientific name (local name)	Areas found	Diameter (mm)	Solid/hollow
Guadua angustifolia Kunth	South America	120–160	Hollow
Dendrocalamus strictus (Calcutta)	Asia	25–80	Hollow
Bambusa vulgaris	Africa, Asia, South America	80–150	Hollow
Phyllostachys edulis (Moso)	Asia	120–180	Hollow
Dendrocalamus asper (Petung)	Asia, South America	80–200	Hollow
Bambusa blumeana (Spiny/Thorny Bamboo)	Asia, Asia-Pacific	60-150	Hollow
Gigantochloa apus	Asia	40–100	Hollow

Tabella 1. Alcune delle specie maggiormente utilizzate in ambito strutturale (Kaminski et al. 2016).

3.1.2 Morfologia e anatomia

La pianta di bambù è composta essenzialmente da tre parti: l'apparato radicale, detto rizoma, il fusto, detto culmo e le diramazioni.
L'apparato radicale del bambù si differenzia a partire dalla specie; esistono infatti i rizomi leptomorfi e i rizomi pachimorfi, distinti sostanzialmente per la forma e la modalità di sviluppo.

Le **specie leptomorfe**, chiamate anche *Running bamboo*, hanno una struttura molto simile a quella del culmo, sebbene esso si sviluppi orizzontalmente nel suolo. Dai nodi vengono prodotti radici e germogli, che daranno successivamente vita a nuovi culmi (Cardenas 2008).
Sebbene la crescita della pianta preveda che si sviluppino anche radici avventizie con orientamento verticale la direzione principale di accrescimento è quella orizzontale.
Il sistema di rete che la pianta crea nei primi 50-100 cm del terreno contribuisce in modo concreto a conservare il terreno e a proteggere il suolo dall'erosione prodotta dai fenomeni atmosferici. Generalmente la pianta non si spinge al di sotto del metro di profondità.
Al suo sviluppo orizzontale consegue però la difficoltà a controllarne la crescita: in fase di coltivazione è necessario intervenire con opportune misure di contenimento atte a mitizzare la natura infestante della pianta.

Figura 13. Gemme di bambù di specie pachimorfa (web).

Le **specie pachimorfe**, conosciute anche come *Clumping bamboo*, sono invece contraddistinte da uno sviluppo di tipo simpodiale, ossia in gruppi di culmi compatti e ravvicinati, dall'apparato radicale molto meno invasivo rispetto al caso precedente.
È questo il caso della maggior parte delle specie esistenti in zona tropicali, come Guadua, Bambusa e Dendrocalamus. Il rizoma si sviluppa verso l'alto arrivando a mostrarsi sopra il suolo con una gemma (figura 1). Quando esso è fuoriuscito dal terreno presenta già il diametro definito dalla sua specie e dall'età della pianta.
Raggiunta l'altezza caratteristica della specie la crescita verticale si ferma e gli anni successivi sono dedicati all'irrobustimento del culmo con sviluppo di lignina e cellulosa nei tessuti vegetali.

L'intero periodo di crescita, dalla nascita della gemma sino all'elongazione definitiva, viene completata solitamente in 30 giorni.

Figure 14. Rizoma leptomorfo (https://www.bamboobotanicals.ca/html/about-bamboo/bamboo-growth-habits.html)

L'elevazione in verticale della pianta è la porzione visibile, che rappresenta la risorsa sfruttabile nel settore delle costruzioni. Altre parti vengono invece sfruttate in altri ambiti: da quello alimentare, a quello tessile e dell'arredamento, sino a quello farmaceutico e cosmetico.

Figura 15. Rizoma e sviluppo verticale del culmo (web).

Ogni culmo è tipicamente composto da elementi cavi di forma tubolare, chiamati internodi, connessi da diaframmi circolari chiamati nodi.

Dai nodi si sviluppano le foglie e i rami, mentre il resto della superficie è liscio e privo di discontinuità.

Così come il fusto anche i rami presentano una successione di nodi ed internodi, sebbene con dimensioni nettamente inferiori.

Gli internodi variano di diametro, spessore di parete, densità e lunghezza di internodo a seconda dell'altezza del fusto e della specie di bambù considerata.

Il diametro e lo spessore dell'internodo decrescono con l'altezza, contrariamente alla densità e alla distanza tra nodi, che invece subiscono una maggiorazione all'aumentare della stessa, sino alla metà dell'elevazione, per poi decrescere nuovamente. In media il bambù si estende sino ai 18-20 metri di altezza, con specie che raggiungono anche i 30 metri di sviluppo verticale, come il Dendrocalamus Giganteus.

A livello microscopico il materiale è composto, approssimativamente, al 40% da fibre, al 50% da cellule di parenchima e al 10% da vasi. La sua struttura può essere assimilata a quella di un materiale composito: essa è costituita da fibre che si sviluppano longitudinalmente lungo il culmo, immerse nel parenchima, un tessuto composto prevalentemente da lignina che funge da connessione tra gli elementi longitudinali.

È altresì rilevante la distribuzione di questi elementi all'interno della sezione: le cellule di parenchima, che sono tessuti con fasci vascolari, vanno aumentando dal perimetro esterno del culmo a quello interno, viceversa le fibre sono più grandi e più fitte in corrispondenza della parete esterna del culmo e decrescono verso il centro, che è cavo, ad esclusione dei punti dove si sviluppano i nodi (Hidalgo 2003).
I nodi sono porzioni del culmo ove gli strati fibrosi corrono anche in senso trasversale, garantendo quindi una maggiore rigidezza rispetto agli internodi.
La conformazione e diffusione delle fibre richiama quella dell'armatura di un elemento in calcestruzzo armato, ove le staffe metalliche corrono più fitte nella superficie più esterna; allo stesso modo esse permettono al bambù di sopportare i carichi del vento, che costituiscono l'azione più gravosa cui è soggetto il materiale in natura.

A livello chimico il bambù consiste per il 30-50% da cellulosa, per il 15-30% da emicellulosa, per 10-28% da lignina. Essi sono associati in una struttura complessa e contribuiscono per il 90% alla massa totale (Janssen 1981).
Nella restante percentuale vi è inoltre anche la silice, che però è collocata soltanto nello strato più esterno della parete.
La quantità di lignina presente nel bambù cambia notevolmente durante ciclo di crescita della pianta, come anche le altre componenti, sebben in minor misura. Una variazione rilevante è quella del contenuto di cellulosa, che diminuisce con l'avanzare dell'età del culmo.

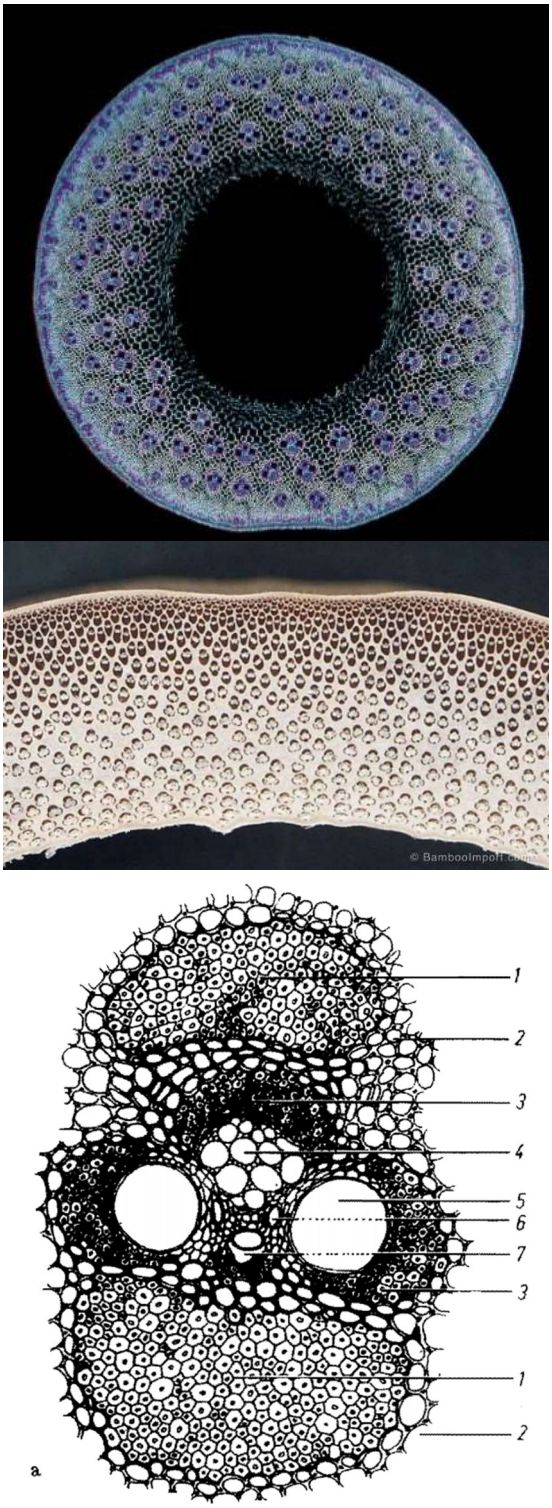


Figura 16. Sezioni trasversali della parete di un culmo (web).

3.1.3 Caratteristiche fisiche

Secondo gli studi di Janssen (1995), and Minke (2012), le proprietà del bambù dipendono da varie condizioni, che lo influenzano sin dall'inizio. Considerando le caratteristiche del bambù senza trattamenti di preservazione, i fattori caratterizzanti possono essere divisi in due categorie: parametri interni, o meglio dette caratteristiche fisiche, e parametri esterni.

Tra i **parametri interni** troviamo in primo luogo la **specie**. Come precedentemente illustrato al mondo esistono circa 1400 specie di bambù, le cui differenze possono esser colte già a partire dai suoi caratteri esteriori: variazioni nel colore del fusto e nella morfologia o la presenza di rami o di funghi o licheni sulla superficie sono osservabili ad occhio nudo, seguono poi diversificazioni nelle dimensioni raggiungibili dalle diverse specie, sia in altezza che nel diametro che nello spessore della parete, le quali richiedono analisi più specifiche. Ulteriore classificazione è possibile attraverso l'osservazione delle infiorescenze, che però avvengono in archi temporali molto lunghi, dal momento che il ciclo di riproduzione della pianta varia dai 3 ai 120 anni a seconda della specie. L'identificazione avviene perciò principalmente attraverso i caratteri vegetativi, sebbene con l'influenza dell'ambiente essi portino talvolta a risultati fuorvianti. Per questo motivo sono evolute analisi volte ad esplorare anche le caratteristiche anatomiche, biochimiche e molecolari (Yeasmin et al 2013).

Figura 17. Alcune tra le specie più particolari: Bambusa Ventricosa e Phyllostachis Edulis Bicolor (web).

Il secondo parametro interno da valutare è l'**età** del culmo, che è uno tra i fattori determinanti per valutare il potenziale utilizzo del bambù nel settore delle costruzioni. Al mutare dell'età variano anche la resistenza, il diametro e lo spessore della parete.
I culmi di bambù raggiungono le migliori performance di resistenza meccanica nella fase di maturità, indicativamente intorno ai 3-4 anni di età (Cardenas, 2008). I massimi valori di densità si registrano intorno ai 3 anni di vita del culmo; le proprietà meccaniche in compressione, taglio e trazione sono tendenzialmente migliori in culmi intorno ai 3-4 anni rispetto ad un culmo maturo di 5 anni.
Talvolta il comportamento differisce dai valori medi per alcune specie considerate, come ad esempio rappresentato nella figura 5: la resistenza ultima a trazione è maggiore nei culmi di classe 2 per i provini dei distretti Yixing e Shimen, mentre è leggermente maggiore nei culmi di classe 3 per gli altri due distretti. Nel complesso rimane valido quanto precedentemente dichiarato: i culmi molto giovani (classe 1) hanno performance minori, così come i culmi molto anziani (classe 5).
Infine si ritiene utile sottolineare l'importanza di considerare le proprietà meccaniche dei culmi anche in funzione del loro ruolo all'interno della maglia strutturale. Solitamente i culmi più giovani sono troppo deboli per essere impiegati come pilastri e i culmi maggiori di 5 anni tendono ad essere duri, complessi da piegare e con uno spessore di parete più difficile da trattare attraverso le tecniche di preservazione per via esterna. Diviene perciò particolarmente importante procedere alla scelta dei culmi con accuratezza e lungimiranza.

Classi di età	1	2	3	4	5
Età in anni	1-2	3-4	5-6	7-8	9-10
Distretto					
Xiashu	151,96	189,00	178,89	199,60	181,74
Yixing	186,18	209,41	197,67	201,65	185,39
Shimen	163,92	191,22	194,82	184,46	169,98
Damaoshhan	137,11	185,46	187,50	187,00	172,88
Valore medio (N/mm^2)	159,79	193,77	189,72	193,18	177,50

Tabella 2. Resistenza ultima a trazione [N/mm2] in funzione dell'età del culmo (Cardenas 2008).

Tra i parametri interni del materiale vi è inoltre il **contenuto di umidità**. Anche questo fattore è legato alla specie, all'età del culmo e alla posizione lungo l'estensione verticale e varia conseguentemente. La quantità di umidità presente alla base è intorno al 110% mentre in cima è circa l'82%.
I culmi verdi, ovvero appena tagliati, presentano valori variabili inclusi tra il 40 e il 150%. Nonostante la rilevanza di queste differenze il fattore maggiormente determinante nelle zone subtropicali è la stagione in cui il culmo viene tagliato. I valori minimi di contenuto di umidità si registrano nella stagione secca, i valori massimi nella stagione delle piogge, con innalzamento dei valori di oltre un terzo.
Nelle zone tropicali senza lunghi periodi asciutti la variazione durante il corso dell'anno può raggiungere al massimo il 20%, come accade nelle Filippine (Cardenas 2008).
Un culmo con umidità del 15% o inferiore tende ad avere buone proprietà meccaniche ed è meno vulnerabile all'attacco da parte di funghi o insetti.
Per l'utilizzo del bambù a scopi strutturali si considera come standard e riferimento un valore del 12% di contenuto di umidità in aree ventilate e asciutte (Awalluddin 2017).
La riduzione del contenuto di umidità influenza le dimensioni del culmo: vi è una riduzione consistente in senso trasversale, mentre in direzione longitudinale essa è quasi irrilevante. Inoltre anche lo spessore della parete viene ridotto: raggiungendo un'umidità del 15% si prevede una riduzione del diametro del 10-16% e dello spessore del 15-17% (Phanratanamala 2014). I trattamenti per ridurre il contenuto di umidità sono numerosi, nella figura 7 è possibile osservare gli effetti della cottura in forno a 150-160°C e della saturazione.
Le dimensioni del bambù variano considerevolmente con il modificarsi del contenuto di umidità, presentando una media di più del 10% nella sezione radiale e trasversale.

Species	Dimension	Considered conditions				
		Ambient	Oven dried	Difference (%)	Saturated	Difference (%)
Dendrocalamus asper	t	12.10	11.71	-3.22	13.20	9.09
	W1	7.31	7.04	-3.69	7.67	4.92
	L	103.48	103.94	0.44	103.88	0.39
Phyllostachys pubescens	t	6.40	5.77	-9.84	6.55	2.34
	W1	7.26	6.52	-10.19	7.31	0.69
	L	86.42	85.92	-0.58	86.45	0.03
Phyllostachys aurea	t	4.44	3.86	-13.06	4.52	1.80
	W1	6.54	6.02	-7.95	6.77	3.52
	L	105.60	104.97	-0.60	105.62	0.02

Tabella 3. Variazioni di lunghezza (L), diametro (W1) e spessore (t) in seguito a processo di essiccazione (Da S. Ribeiro et al. 2019).

La **densità** è anch'essa un fattore influente sulla risposta del materiale agli stimoli esterni, siano essi di tipo meccanico o fisico.
Essa subisce variazioni sia all'interno del culmo stesso sia a seconda della condizione in cui la pianta è inserita che dall'età.
La densità varia tra i 500 e gli 800 kg/m^3, in correlazione con la struttura anatomica così come con la quantità e distribuzione delle fibre intorno ai fasci vascolari (figura 6). Essa aumenta dal centro verso gli strati periferici.
Questa caratteristica dipende ulteriormente dal contenuto di umidità: sottoposti a differenti trattamenti i culmi riducono o aumentano la loro densità (figura 7).

Scientific name	Age	Distance between nodes	External diameter	Thickness	Density
	years	mm			g cm^{-3}
Dendrocalamus asper	7	518.8	118.91	10.40	0.73
Phyllostachys pubescens	7	354.1	70.03	6.54	0.85
Phyllostachys aurea	7	196.4	32.73	4.15	0.78

Tabella 4. Variazioni di diametro, densità e spessore di parete di diverse specie al settimo anno di età (Da S. Ribeiro et al. 2019).

Species	Established conditions				
	Ambient	Oven dried	Difference (%)	Saturated	Difference (%)
Dendrocalamus asper	0.55	0.53	-3.64	0.80	45.45
Phyllostachys pubescens	0.67	0.83	23.88	0.97	44.78
Phyllostachys aurea	0.66	0.75	13.64	0.82	24.24

Tabella 5. Variazione della densità per le condizioni di contenuto di umidità stabilite (Da S. Ribeiro et al. 2019).

Dal punto di vista estrinseco è invece necessario considerare la molteplicità delle condizioni climatico-ambientali in cui il bambù può crescere.
Come già esemplificato attraverso la descrizione dei parametri interni l'ambiente esterno influisce in maniera sostanziale sulle caratteristiche del bambù. In quanto materiale igroscopico esso è in grado di assorbire prontamente le molecole d'acqua presenti nell'ambiente circostante, siano esse in forma liquida o sotto forma di vapore e variare dunque alcune sue caratteristiche in funzione delle condizioni climatiche e stagionali.
Altri ulteriori aspetti da considerare sono strettamente connessi all'intervento dell'uomo, ad esempio per quanto concerne le fasi di raccolta, taglio, essiccatura e trattamento.

Internal Factors (Physical Properties)	External Factors (Stimulative Properties)
- Species	- Climate
- Age	- Season
- Moisture content (MC)	- Soil
- Position along the culm	- Cutting and treatment
- Position of the nodes and internodes.	- Growing places
- Density	- Relative Humidity
- Nutrient content	

Tabella 6. Fattori interni ed esterni (Phanratanamala 2014).

Il periodo ideale per la raccolta del bambù è la stagione secca, poiché la pianta produce un numero esiguo di nuovi germogli e il contenuto intrinseco di umidità è ai minimi livelli. In questo modo possono essere ridotte le probabilità di malattie post raccolto e viene facilitata l'operazione di trasporto.
Rivestono importanza anche i processi di climatizzazione e di adattamento dei culmi, che devono necessariamente precedere l'impiego della materia prima.

3.1.4 Caratteristiche meccaniche

Dal punto di vista fisico il bambù è un materiale anisotropo, poiché le sue proprietà variano a seconda della direzione considerata; ciò accade proprio a causa della sua struttura anatomica, come precedentemente approfondito.
Le implicazioni sul comportamento meccanico sono di notevole importanza per costruire un quadro di contestualizzazione del materiale sufficientemente esaustivo per la fase progettuale successiva.

Il bambù è caratterizzato tipicamente da una resistenza simile a quella delle categorie di legno duro, ad esempio appartenenti alla classe di resistenza D40, come la quercia, l'iroko e il mogano (Kaminski 2016).
Per effettuare una comparazione verosimile tra i due materiali numerosi aspetti vanno tenuti in considerazione: i parametri esterni e interni (par. 3.1.3) hanno ripercussioni dirette o indirette sulle proprietà del bambù, dando luogo ad una notevole variabilità di comportamenti. In generale l'umidità specifica è la caratteristica fisica che più influisce sulle proprietà meccaniche.

Standard Name	*Grade*	*Bending parallel to grain* [a]	*Tension parallel to grain* [a]	*Compression*		*Shear parallel to grain*	*Modulus of elasticity*		*Approx*
				Parallel to grain	*Perpendicular to grain* [b]		*Mean*	*Minimum*	*Weight Kg/m3*
		N/mm²	*N/mm²*	*N/mm²*	*N/mm²*	*N/mm²*	*N/mm²*	*N/mm²*	
Balau	D70	23.4	14.1	23.0	5.3	2.8	20 900	16 700	850
Beech	D30	22.8	22.8	15.2	4.5	3.1	11 400	7 200	710
Douglas Fir	C24	4.4	2.6	5.2	2.1	0.8	9 500	6 000	530
Ekki	D70	25.0	15.0	24.6	5.6	3.0	18 500	15 500	1050
Greenheart	D70	26.1	15.6	23.7	5.9	2.6	21 600	18 000	1030
Iroko	D40	12.6	7.5	12.6	2.8	1.6	10 600	8 500	660
Jarrah	D40	13.8	8.2	14.2	3.1	2.0	12 400	8 700	835
Kapur	D60	18.1	10.9	18.0	4.1	1.9	19 200	15 800	770
Keruing	D50	16.2	9.7	16.0	3.6	1.7	19 300	16 100	745
Larch	C24	5.3	3.2	6.8	1.8	0.8	9 000	6 000	575
Oak	D40	20.7	20.1	15.2	4.5	3.1	9 700	5 200	700
Opepe	D50	17.0	10.2	17.6	3.8	2.1	14 500	11 300	740

Tabella 7. Comparazione delle proprietà fisiche e meccaniche di alcune specie di legname (web).

Per quanto concerne la sua **resistenza a trazione** il bambù presenta però caratteristiche meccaniche sorprendenti, se paragonate a quelle dei più comuni materiali da costruzione (Cardenas 2008). In particolare esso raggiunge valori di resistenza molto elevati quando gli sforzi esterni sono applicati lungo l'asse longitudinale del culmo.
Se la forza esterna che agisce sul culmo di bambù è applicata ad un estremo, in corrispondenza del baricentro della sezione, essa genera nell'elemento una forza di reazione pari in intensità e opposta nel verso. La coppia di forze dà luogo ad un allungamento o accorciamento delle fibre del materiale, nel primo caso se l'elemento è soggetto a trazione, nel secondo se sottoposto a compressione.
Considerando la molteplicità di condizioni e variabili, che certificano valori di resistenza a trazione anche superiori a 350 Mpa (Ghavami 2005), viene riportato come valore medio della resistenza a trazione parallela alle fibre il dato seguente:

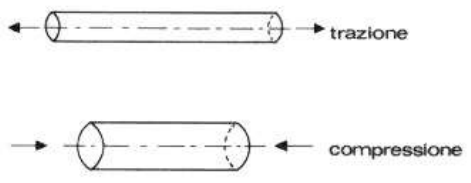


Figura 24. Azione assiale di trazione e compressione.

- Al nodo: 107,5 N/mm²
- All'internodo: 106,5 N/mm²

(Cardenas 2008)

Si attestano circa su queste grandezze anche i risultati ottenuti da altri test, effettuati sulle specie ad uso strutturale Phyllostachys aurea, Phyllostachys pubescens, Dendrocalamus asper (figura 25).

	Ambient			Saturated in water		
	PA	PP	DA	PA	PP	DA
Without node	202.03 Aa*	182.60 Aa	106.08 Ba	174.06 Aa	182.93 Aa	121.95 Ba
With node	123.69 Ab	107.01 Ab	53.62 Bb	53.31 Bb	80.78 Ab	91.70 Ab
	Oven dried			Control[1]		
	PA	PP	DA	PA	PP	DA
Without node	167.73 Aa	179.28 Aa	84.33 Ba	185.08 Aa	170.85 Aa	113.75 Ba
With node	79.00 Ab	103.69 Ab	36.48 Bb	129.08 Ab	110.95 Ab	54.33 Bb

* Means followed by distinct lowercase letters in the columns and capital letters in the rows differ from each other by the Scott-Knott test, at a significance level of 5 %. [1] Treated by a specialized company.

Tabella 8. Resistenza a trazione parallela alle fibre: PA=P. Aurea, PP= P. Pubescens, DA= Dendrocalamus (Marra Da Silva Ribeiro et al. 2019).

Dagli studi sulle proprietà meccaniche del bambù effettuate negli anni Novanta da Jules J.J. Janssen e dalle sperimentazioni successivamente condotte vengono delineati i fattori influenti sulle prestazioni del materiale.
Si evidenzia una correlazione diretta tra la tensione di rottura a compressione e i seguenti parametri:

- Diametro dei culmi
- Spessore dei culmi
- Geometria adottata
- Età del culmo
- Posizione lungo il culmo
- Densità
- Umidità

Inoltre vi è una sostanziale differenza tra la resistenza degli strati esterni ed interni della parete. La resistenza a trazione degli strati superficiali è circa 2-3 volte maggiore degli strati più profondi (Phanratanamala 2014).

Nel caso specifico della resistenza a trazione parallela alle fibre i nodi riducono le prestazioni, probabilmente perché la presenza di fibre con differente orientamento genera sollecitazioni trasversali (Da Silva Ribeiro et al. 2019).
In direzionale trasversale alle fibre i valori di resistenza sono notevolmente inferiori.

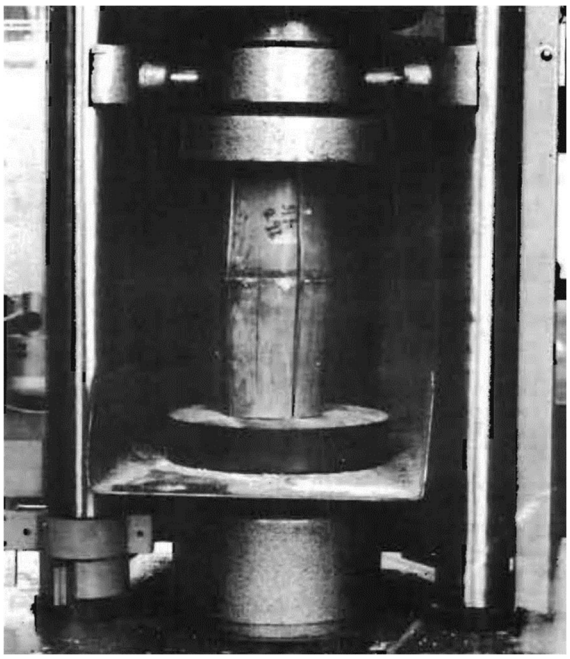


Figura 26. Test di compressione su provino di bambù (Janssen 1981).

Per quanto concerne la risposta meccanica agli sforzi di compressione il bambù presenta un comportamento meno particolare: per alcune specie i valori di resistenza a compressione sono simili a quelli del legno molto duro, per altre invece i valori crescono maggiormente, superando di gran lunga quelli del calcestruzzo (figura 14).

In linea generale la **resistenza a compressione** si attesta tra i 40 e gli 80 N/mm^2 (Janssen 1981; Phanratanamala 2014).

Mentre la resistenza a trazione decresce quando i culmi superano i 5-6 anni di età, la resistenza a compressione aumenta con l'età.
La presenza di nodi nei provini testati mostra un incremento approssimativo dell'8% rispetto ai provini privi di nodi.

Se il bambù potesse crescere perfettamente dritto sarebbe possibile sfruttare appieno le sue proprietà meccaniche in compressione, ma ciò non accade in natura. Questa

caratteristica porta il culmo a cedere prima del raggiungimento della sua massima resistenza a compressione parallela alle fibre (Phanratanamala 2014).
Il bambù con un ridotto contenuto di umidità resiste maggiormente agli sforzi di compressione rispetto ad un culmo con alto contenuto della stessa.
Il contenuto di umidità preferibile deve però considerare la possibilità che il culmo sia sottoposto a sforzi di differente natura o composti; è quindi comunque consigliabile mantenersi nel range 12-15%.
Come precedentemente citato per gli sforzi a trazione vi è una sostanziale differenza di risposta tra gli strati superficiali e quelli profondi della parete, con valori di resistenza a compressione più bassi per questi ultimi.
È possibile osservare questo comportamento nei provini della specie Phyllostachis Reticulata, mostrato in figura 14 attraverso la relazione tra tensione di compressione e i diversi strati della parete del culmo, in funzione del contenuto di umidità (MC).

Strati della parete	MC	ρ [Kg/m³]			σ_c [N/mm²]		
		min	medio	max	min	medio	max
Strato esterno	10,0-13.5%	837	918	1014	92,9	112,2	130,8
Strato intermedio	10,0-13,0%	718	775	813	62,9	79,7	95,1
Strato interno	10,5-13,6%	629	748	833	52,3	67,2	81,6
Culmo intero	10,4-12,9%	756	866	944	78,2	83,1	96,0

Tabella 9. Valori di resistenza a compressione del Phyllostachis Reticulata (Cardenas 2008).

Secondo la normativa ISO 22157 sarebbe auspicabile effettuare le prove di compressione sia in direzione parallela alle fibre sia in direzione perpendicolare. Tuttavia la stessa normativa non include linee guida per l'effettuazione delle prove di compressione perpendicolari alle fibre: vengono descritte solo le metodologie di test atte alla misurazione dello sforzo di compressione parallelo alle fibre. Per questo motivo il numero di prove sperimentali sul tema è molto esiguo.
Su un piano generale è stato osservato che se il carico insiste parallelamente alle fibre la resistenza ultima di una sezione comprendente un nodo è solo dell'8% più elevata rispetto alla sezione di un internodo. Differentemente accade quando il carico è applicato perpendicolarmente alle fibre. La presenza del nodo permette un incremento del 45%.
La resistenza a compressione perpendicolare in assenza di nodo risulta piuttosto bassa e richiede dunque l'utilizzo di tecniche atte a rinforzare l'internodo per contrastare le forze laterali (Jannsen 1981).

Proprietà meccaniche N/mm²	Modulo elastico	Resistenza a compressione	Resistenza a trazione	Resistenza a flessione	Resistenza a taglio
Abete (Italia)	11000	4,3	9	68	7
Bambù	20000	64-110	148-384	76-276	20
Acciaio	210000	250-350	250-350	140	92
Calcestruzzo C25/30	31500	12,6-126	1,19		

Tabella 10. Proprietà meccaniche di diversi materiali a confronto (DeBoer e Bareis 2000).

Il comportamento a flessione del bambù è di considerevole importanza nell'analisi della condotta globale di una struttura, poiché questo tipo di sforzi si genera in particolar modo negli elementi strutturali, quali travi, pilastri, solai e muri.
Gli sforzi di flessione nascono a seguito dell'azione di diversi tipi di carico agenti sulla struttura: essi includono, tra gli altri, carichi concentrati, carichi uniformemente distribuiti, carichi del vento e carichi eccezionali.
Quando un carico produce una deflessione troppo elevata il componente strutturale potrebbe cedere, portando così ad una condizione di instabilità l'intera struttura.

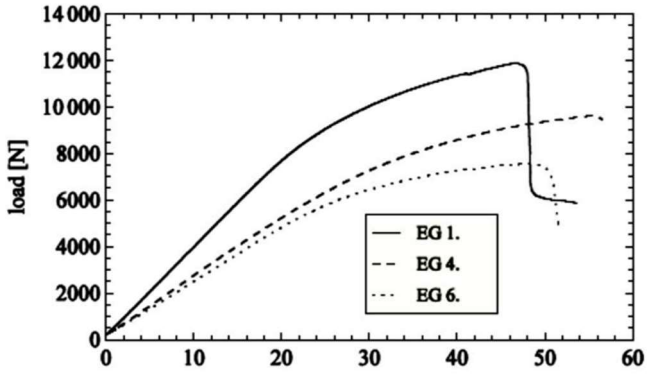


Figura 29. Grafico carico-spostamento per la prova a flessione (Greco 2016).

Le grandezze derivate dallo studio sui campioni italiani di Phyllostachys Edulis riportano il valore medio di resistenza a flessione 97 Mpa, con i valori di massima pari a 118,40 MPa e minima pari a 72,10 Mpa, in relazione ad un contenuto di umidità del 47,3% (Fabiani 2014). Il bambù presenta dunque una rigidità flessionale non uniforme lungo la sua estensione verticale.
Il comportamento del bambù sottoposto a flessione segue l'andamento descritto in figura 16, con una prima fase pressoché elastica (Janssen 1995).

La resistenza ultima a flessione risulta dunque influenzata da:

- Densità
- Età del culmo
- Posizione lungo il culmo
- Contenuto di umidità

Età	ρ Massa volumica Kg/m³		σ N/mm²		E in N/mm²	
	Verde	Stagionato	Verde	Stagionato	Verde	Stagionato
0,5	487	696	52,4	88,9	11090	14540
1	515	678	54,4	100,6	9230	14740
2	635	800	72,3	110,2	126100	15160
2,5	661	757	93,7	128,2	15300	17640

Tabella 11. Confronto tra tensione ultima a flessione e modulo elastico in funzione dell'età, per bambù verde e stagionato con MC 12% (Cardenas 2008)

Anche il **modulo elastico** subisce variazioni in base alla porzione di culmo considerata, nonché in base al punto della sezione: gli strati più esterni hanno un modulo elastico più alto che decresce verso la cavità centrale.
Il modulo elastico descrive l'entità della deformazione elastica di un materiale in seguito all'applicazione di uno sforzo. Considerata l'esistenza di tre principali tipi di sforzi ne derivano tre distinti moduli di elasticità: di trazione, di compressione e di taglio.

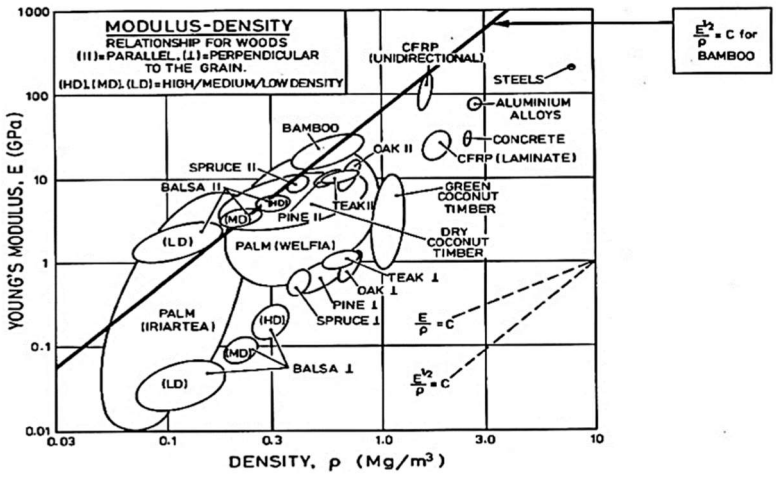


Figura 31. Performance del bambù e di altri materiali in relazione al modulo elastico E e alla densità ρ (Ghavami 2005).

A titolo di esempio si riportano le grandezze del modulo di elasticità di compressione e trazione, riferite a culmi di diverso diametro (figura 18).
Rientra nella gamma riportata anche il modulo elastico E ottenuto dalle prove di trazione su Phyllostachys Viridiglaucescens italiano: esso registra un valore di 22507 Mpa (Fabiani 2014).

Il modulo elastico di trazione del legno, in direzione parallela alle fibre, varia tra 2500 N/mm^2 e 17000 N/mm^2, e per l'abete è di circa 15000 N/mm^2.

Modulo elastico di compressione in N/mm²			
mm	Ø 100	Ø 80	Ø 70
min	15190	18900	16500

Modulo elastico di trazione in N/mm²		
mm	Ø 90	Ø 80
min	17000	17900
max	22000	24100

Tabella 12. Valori del modulo elastico di compressione e di trazione, riferiti a culmi di diverso diametro (Cardenas 2008).

A monte delle proprietà meccaniche sopra descritte si comprende come il bambù risulti adeguato all'utilizzo in strutture soggette a sforzi flessionali di media entità: trova facile impiego nella realizzazione di ponti sospesi, nel coprire spazi contraddistinti da grandi luci e in strutture caratterizzate da modesta elevazione verticale (figura 20).
È inoltre ampiamente sfruttabile come elemento di armatura nel calcestruzzo nonché come asta nelle travi reticolari (Janssen 1981) proprio grazie alle sue proprietà di resistenza a trazione e compressione. Nei Paesi asiatici esso è largamente diffuso nel settore delle costruzioni per la realizzazione di ponteggi da cantiere (figura 22).
Al fine di una panoramica completa sul materiale riveste inoltre particolare importanza la **resistenza a taglio**. Essa rappresenta uno degli aspetti più critici del bambù: i parametri si presentano infatti particolarmente bassi. Il motivo di tale comportamento risiede nella scarsa coesività delle fibre che lo compongono e dalla presenza della cavità centrale. I fasci fibrosi sono effettivamente immersi nel parenchima, che si differenzia dalle fibre per composizione chimica e conseguente comportamento fisico. Inoltre se paragonato al legno il bambù ha un esiguo contenuto di lignina.

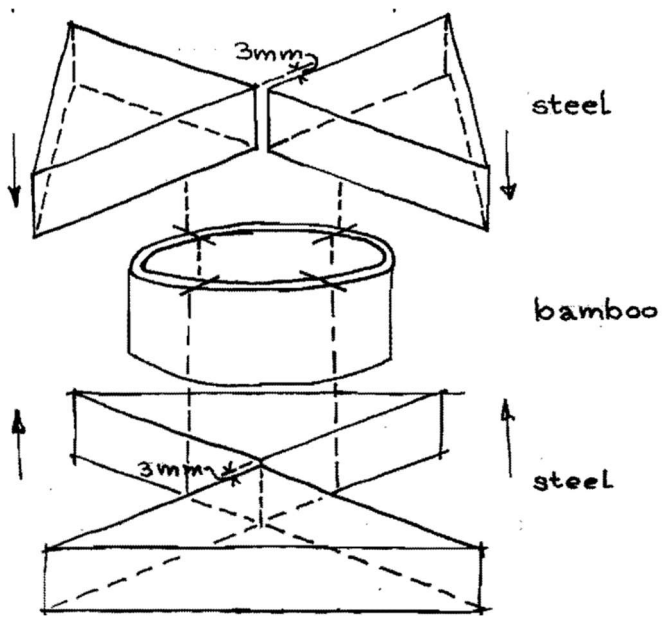


Figura 33. Schema di realizzazione di prova a taglio (Janssen 1981).

Da una serie di sperimentazioni si è osservato che la resistenza a taglio decresce con l'aumentare della lunghezza della superficie di taglio: per uno spessore di parete di 10 mm la resistenza a taglio risulta inferiore dell'11% rispetto a quella di una parte da 6 mm (Cardenas 2008).

Il comportamento della struttura agli sforzi di taglio obbliga a riflessioni approfondite circa lo studio delle connessioni nella struttura. Si stima che la resistenza a taglio equivalga approssimativamente all'8% della resistenza a trazione (Janssen 1981).
Non esistono prove a taglio su campioni di bambù italiano, si riportano in letteratura valori di resistenza medi attorno ai 12 Mpa (Greco 2016).

La bassa resistenza a taglio si configura come uno svantaggio per l'utilizzo strutturale del bambù ma è tuttavia, allo stesso tempo, un enorme beneficio per altri utilizzi: nella coltivazione, nella realizzazione di ceste, tappeti e oggetti di artigianato che vengono prodotti a partire dal bambù splittato.
È altresì rilevante sottolineare quanto questa peculiarità abbia influenzato lo sviluppo di molte tecniche costruttive tradizionali, quali il *Bahareque* e il *Quincha* e abbia favorito alcuni utilizzi del materiale anche in epoca contemporanea, ad esempio con il bambù lamellare e il calcestruzzo rinforzato con il bambù.

Figura 34. Panyaden International School di Chiang Mai, architetti Markus Roselieb e Tosapon Sittiwong (Markus Roselieb 2017). Figura 35. Bambù come armatura nel calcestruzzo (web). Figura 36. Ponteggi realizzati in bambù in un cantiere cinese (web). Figura 37. Ponte sospeso in bambù Orangutan Haven (Binsar Bakkara 2018).

3.2 Debolezze specifiche

Al fine dell'utilizzo del bambù in ambito costruttivo è doveroso approfondire alcune debolezze, che per la maggior parte dipendono dalla natura stessa della pianta, come diretta conseguenza delle sue caratteristiche fisiche e morfologiche.
Tra queste rientrano la bassa resistenza meccanica per sforzi perpendicolari alle fibre negli internodi, la tendenza allo splitting longitudinale a causa della bassa resistenza a taglio, l'avversione verso acqua e umidità e la sensibilità agli attacchi di insetti e microrganismi.

3.2.1 Durabilità

La durabilità del bambù è attualmente uno dei limiti più grandi del suo utilizzo. Se paragonato al legno il bambù è più incline a raggiungere un rapido decadimento a causa della carenza di tossine naturali e allo spessore ridotto delle pareti dei culmi, poiché ciò significa che anche un piccolo deterioramento può portare ad un significativo cambiamento nella capacità portante (Kaminski et al. 2016).
Anche la presenza di numerose cavità è un aspetto significativo: esso favorisce il proliferare di colonie di insetti e microrganismi, che, attirati dall'alto contenuto di amido, possono moltiplicarsi in un luogo riparato dai principali agenti distruttivi (Cardenas 2008).
Ne consegue che le tre principali **cause di degrado** per il bambù siano: l'attacco da parte di funghi, l'aggressione ad opera di termiti o ad opera di coleotteri. A queste si aggiunge il degrado naturale al quale sono soggetti tutti i materiali da costruzione, dovuto all'interazione con i fenomeni atmosferici, quali vento, raggi solari e precipitazioni.

Le cause di degrado sopra citate influiscono in maniera sostanziale sulle proprietà meccaniche del materiale, riducendo drasticamente l'efficienza della risposta strutturale dell'edificio alle sollecitazioni esterne.

Similmente a quanto avviene per il legno lo strumento più efficiente per proteggere il bambù dal possibile degrado consiste nel realizzare una stagionatura appropriata e nel curare con estremo rigore la fase di progettazione dell'intera struttura nonché dei suoi dettagli costruttivi, come verrà approfondito nel paragrafo 3.3.

In generale si registra come edifici in bambù di un solo piano sono meno soggetti a decomposizione rispetto agli edifici multipiano, perché minor superficie muraria è esposta alle precipitazioni (Kaminski et al 2016); inoltre in caso di edifici alti lo sporto del tetto, seppur ampio, non è in grado di proteggere i piani bassi dalla pioggia di stravento, portando ad un degrado non uniforme.

Figura 37. Culmi attaccati da un fungo e culmo preda delle termiti (guaduabamboo.com).

Per la natura chimica e anatomica del bambù gli strati più profondi della parete hanno una ridotta capacità di resistenza rispetto agli strati superficiali, anche per quanto concerne l'aggressione da parte di microrganismi. Per questo motivo vi è una sostanziale differenza nell'affidabilità delle differenti tecniche di preservazione del materiale; quelle che prevedono il trattamento dei soli strati superficiali difficilmente riescono a ridurre l'impatto del degrado nelle cavità degli internodi.

Nel complesso un culmo di bambù si mantiene integro naturalmente e senza alcuna manutenzione:

- 1-3 anni all'aperto e a contatto con il suolo;
- 4-6 anni se coperto e non a contatto con il suolo;

- 10-15 anni se al riparo e in ottime condizioni di utilizzo.

All'interno della tematica della durabilità è interessante osservare la variazione dei fenomeni di degrado su diverse porzioni dell'edificio. Vi sono alcune aree che sono più esposte: tipicamente l'attacco a terra, ma anche le pareti esterne, se non protette da una falda molto ampia. Ove è prevista una zona porticata, quindi coperta ma aperta, anche la parte inferiore delle pareti che affacciano su quest'area è facilmente raggiungibile dagli agenti atmosferici e ha perciò durata limitata. Risultano più protette le porzioni di superficie muraria schermate dai raggi solari per la maggior parte della giornata; lo scolorimento degli elementi in bambù sarà inferiore che nelle altre parti.
Le superfici di bambù maggiormente in grado di preservare le loro caratteristiche nel tempo sono quelle utilizzate nell'ambiente interno o interamente protette dalla copertura (figura 23).

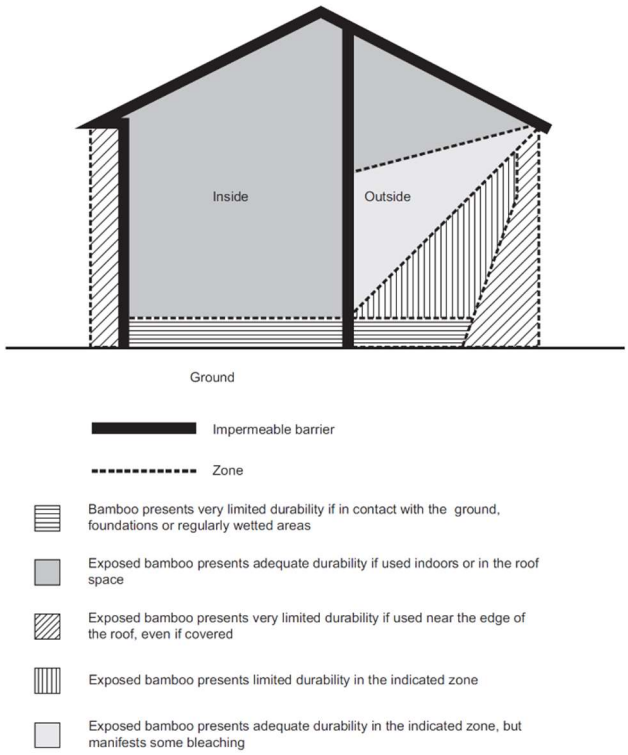


Figura 38. Schema del rischio di degrado in differenti porzioni di un edificio (Trujillo et al. 2013).

3.2.2 Resistenza all'umidità e all'acqua

Quando essiccato il bambù soffre molto l'umidità e gli agenti atmosferici. Se entra in contatto diretto con l'acqua tende a degradarsi, si presentano fessurazioni e scolorimenti.
Il fatto di essere un materiale igroscopico implica che il bambù asciutto, posto in condizioni di forte umidità, tende a riassorbire l'acqua.
A tal proposito è inoltre possibile utilizzare il contenuto di umidità come indice dello stato di degrado di un elemento in bambù. Con l'avanzare della degradazione delle cellule il contenuto d'acqua tende ad aumentare per imbibizione: è quindi possibile stimare il livello di degrado in funzione del contenuto di umidità.

Il trattamento della superficie con strati resistenti all'acqua e ai raggi UV può incrementare la vita del rivestimento esterno dell'edificio. Molte comunità utilizzano ancora oggi metodi tradizionali come il rivestimento del bambù con il fango o il letame combinati con altri materiali allo scopo di rivestire il bambù e proteggerlo dall'esposizione dei raggi solari e delle precipitazioni.
Queste misure sono generalmente efficaci quando associate ad ulteriori accortezze progettuali: la struttura in bambù non deve essere in contatto diretto con il terreno e deve essere trattata in modo da resistere agli attacchi di termiti, muffe e funghi, che potrebbero derivare dalla stretta aderenza tra il bambù e gli strati di rivestimento (Hodgkin e Prideaux 2018).

Figura 39. Fenomeni di degrado (Minke 2012).

3.2.3 Connessioni

Parallelamente al tema della durabilità è necessario approfondire le problematiche relative alle connessioni. Sviluppare e realizzare giunzioni tra differenti culmi o con altri materiali è uno degli aspetti più complicati da trattare quando si progetta con il bambù. Questo accade per diverse ragioni, che possono essere riassunte qui di seguito:

- le innumerevoli variazioni nelle proprietà meccaniche;
- la variabilità delle dimensioni del culmo (diametro, spessore, lunghezza degli internodi);
- la sua forma circolare;
- la presenza di una cavità centrale;
- una superficie esterna liscia e molto rigida;
- la scarsa resistenza a taglio;
- la natura ortotropica del materiale, che comporta risposte differenti a seconda della direzione degli sforzi a cui è sottoposto.

In risposta a queste caratteristiche sono state sviluppate nell'arco del tempo numerose soluzioni tecniche: ai metodi tradizionali si sono affiancate nuove strategie, evolute grazie all'introduzione di nuovi materiali e strumenti nel settore costruttivo, che hanno permesso di approcciarsi al bambù con prospettive differenti. Ciò è stato possibile anche grazie ad un interesse crescente verso il materiale a partire dalla seconda metà del Novecento, quando numerosi architetti e ingegneri si diedero alle più svariate sperimentazioni sul materiale, permettendo il suo utilizzo al di fuori dell'architettura vernacolare.

Sebbene il bambù possegga eccellente resistenza a trazione esiste un numero esiguo di giunti in grado di massimizzare l'utilizzo di questa proprietà (Widyowijatnoko 2012); parallelamente anche la maggior parte delle strutture in bambù si fonda sull'utilizzo del bambù sottoposto a sforzi di compressione e flessione, piuttosto che sull'impiego di tecniche costruttive che lavorano in trazione (Dunkelberg 1985).

Tra le categorizzazioni possibili, le connessioni tra culmi sono divisibili in:
- **connessioni tradizionali**, ovvero giunti tramite incastro, legature, o con elementi passanti;
- **connessioni high-tech**, ovvero giunti con inserimento di elementi in metallo o calcestruzzo.

Tali tecniche di giunzione sono approfondite al paragrafo 3.3.3, con esemplificazione degli svantaggi e vantaggi che esse comportano.

3.2.4 Resistenza meccanica degli internodi

Dal punto di vista meccanico risulta una differenza sostanziale nella resistenza agli sforzi quando applicati in direzione trasversale alle fibre. Se sollecitato a sforzi di compressione trasversale il culmo è molto più fragile che in direzione longitudinale, ad eccezione dei punti in cui sono posizionati i nodi.
Da questa caratteristica consegue l'importanza di curare con attenzione il posizionamento dei nodi durante la fase di realizzazione delle connessioni.
Un culmo verticale posizionato al di sopra di un culmo orizzontale privo di nodo potrebbe facilmente portare alla fessurazione e rottura (figura 40), così come la messa in opera di un pilastro che non termini con un nodo alla sua estremità inferiore.

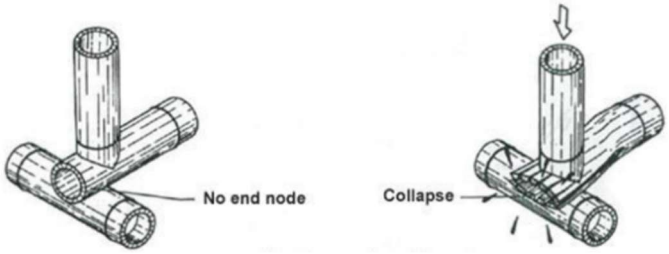


Figura 40. Rottura del culmo per scorretto posizionamento dei nodi (web).

Considerando che la distanza tra i nodi dipende sia dalla specie, sia dall'età del culmo, sia dalla posizione lungo l'elevazione verticale, si desume che una pianificazione accurata limitatamente alla fase di progetto non sia sufficiente: la selezione e la scelta dei culmi deve essere necessariamente rivista in fase di cantiere, per assicurarsi che nei punti di maggiore sollecitazione le connessioni siano associate alla presenza di un nodo.

Come è possibile desumere dal grafico (figura 26.a) la lunghezza degli internodi aumenta nella porzione centrale del culmo, ovvero nella *basa* e *sobrebasa* per poi diminuire verso la cima. Lo spessore di parete è solito essere molto ampio alla base per poi ridursi in maniera abbastanza graduale verso la cima (figura 41.b).

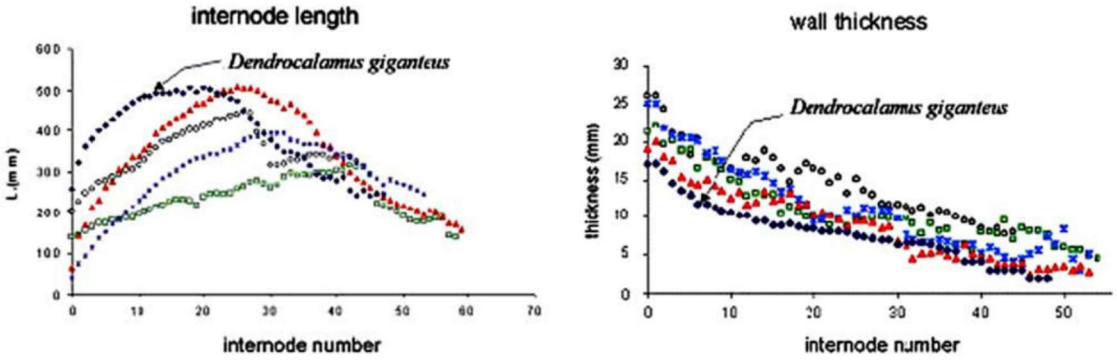


Figura 41. Variazioni dello spessore e della lunghezza degli internodi lungo l'estensione del culmo (Ghavami 2005).

3.2.5 Assenza di Normative

Infine si ritiene importante sottolineare come l'assenza di Standard Normativi di utilizzo del bambù nelle costruzioni nella maggior parte dei Paesi porti ad una difficile applicazione del materiale in ambito edilizio.
In alcuni paesi, come Colombia, Perù, Ecuador e India, il bambù appartiene alla legislazione nazionale con pari diritti rispetto ai materiali consuetamente utilizzati nell'edilizia. Per il resto dei Paesi esistono delle norme di standardizzazione e dei criteri per il bambù strutturale: negli Stati Uniti esse sono state adottate sin dal 2000, in Europa la loro introduzione risale al 2004 grazie all'ISO, International Organization for Standardization.
Ad oggi i due strumenti tecnici per la progettazione e valutazione delle strutture in bambù in Europa sono le Norme Internazionale ISO 22156 e ISO 22157. Esse sanciscono criteri e valori limite per la verifica strutturale.

Tali normative definiscono i requisiti di resistenza e durabilità della struttura, individuano i test da effettuare e indicano procedure standard di sperimentazione, determinano criteri che permettono l'osservazione delle caratteristiche meccaniche e la loro interrelazione con le proprietà fisiche, quali il contenuto di umidità, la presenza di nodi e internodi, la posizione lungo il culmo.

La redazione di criteri nazionali rappresenterebbe uno step significativo per accrescere la consapevolezza e l'accettazione de bambù, ad oggi categorizzato come materiale non convenzionale in molti paesi (Janssen 2000). Tra le potenzialità del materiale vi è la possibilità di essere nuovamente adottato nella realizzazione di abitazioni a basso costo. Il bambù cresce infatti in zone caratterizzate da urbanizzazione crescente e scarsità di risorse, ma l'assenza di norme esaurienti continua a limitarne l'utilizzo nel settore industriale di larga scala. A subirne le conseguenze sono anche tutte le figure tecniche legate al settore della progettazione e della costruzione. L'assenza di criteri affidabili conduce ad una generale diffidenza verso il materiale e rende particolarmente difficoltosi i processi di adozione del bambù (Golden 2018). Per questo motivo riveste grande importanza l'International Bamboo and Rattan Organisation (INBAR), una associazione intergovernativa indipendente, nata nel 1997 al fine di facilitare lo sviluppo e la promozione di soluzioni innovative contro la povertà e a favore della sostenibilità ambientale, proprio attraverso l'utilizzo del bambù e del rattan. Oggi INBAR conta 47 Stati membri, principalmente appartenenti al continente asiatico, africano e all'America Latina.

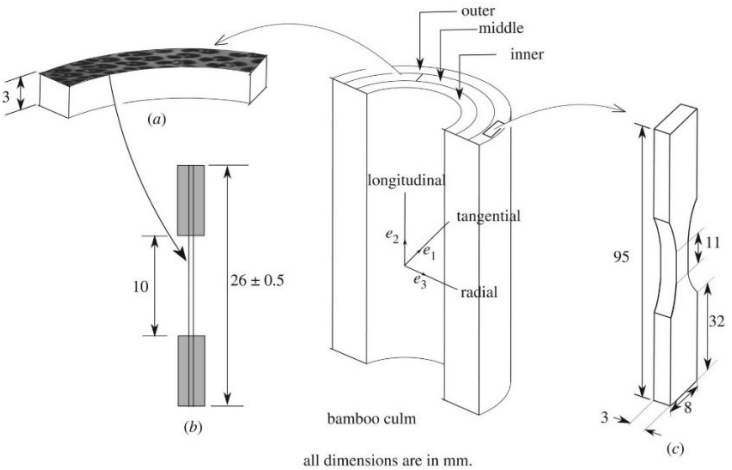


Figura 42. Differenti campioni estraibili dal culmo per i test sulle sue proprietà (https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rsos.160412)

3.3 Soluzioni tecnologiche

Alla luce delle potenzialità e criticità sopra descritte si procede quindi con l'esemplificazione di soluzioni tecnologiche atte a minimizzare i rischi di degrado e allungare il ciclo di vita delle strutture in bambù.
Adeguate strategie progettuali e trattamenti specifici di protezione, accompagnati da un controllo accurato di tutte le fasi del ciclo di vita dell'edificio, dalla fase di raccolta del materiale alla manutenzione, possono contribuire in maniera sostanziale al raggiungimento dell'obiettivo.
Particolare attenzione viene posta ai giunti di connessione tra i culmi: dai metodi tradizionali che prevedono l'utilizzo di corda o incastri sino a giunzioni metalliche semplici o ingegnerizzate.

3.3.1 Trattamento con preservanti naturali o chimici

Vi è un numero consistente di trattamenti e rimedi tradizionali o chimici applicabili per contrastare le fragilità del bambù. Con la loro introduzione è possibile ampliare in modo sostanziale il ciclo di vita dell'edificio; in assenza di procedure adeguate il bambù necessiterebbe di sostituzione molto frequente: ogni 3 anni se collocato in ambiente esterno senza contatto con il terreno (Schröder 2012; Kaminski et al. 2016), ogni massimo 15 anni se trattato con sale di boro, sino a 30 anni se vengono combinati differenti metodi (tabella 13).
In India, una abitazione a basso costo realizzata in bambù e trattata con una soluzione di rame, cromo e arsenico (CCA), solitamente utilizzata come conservante per il legno, ha mantenuto la sua integrità persino dopo 40 anni di utilizzo (Kumar et al. 1994).

	Untreated	Treated with boron	Treatment with fixed preservatives*
Internal	2–6 years	≥30 years	≥30 years
External above ground	0.5–4 years	2–15 years	≥30 years
External in ground contact	<0.5 years	<1 year	≥15 years

* This is an inferred estimate based on a combination of limited testing conducted so far using fixed preservatives in bamboo, and on evidence from stake tests of timber. It is not yet known whether severe exposure to rain increases the likelihood of splitting, which would weaken the culm and its connections, and allow further water ingress[7]

Tabella 13. Periodo di vita del bambù in diverse condizioni di utilizzo, presupponendo un ambiente caldo con alto rischio di attacchi di termiti e coleotteri (Kaminski et al. 2016).

I metodi di preservazione si dividono in naturali e chimici. La scelta del trattamento dipende da numerosi fattori:

- Lo stato di partenza dei culmi, se verdi o secchi;
- La forma del prodotto da trattare, se culmi interi o bambù splittato;
- L'utilizzo finale, in particolare se con funzione strutturale o non strutturale, se in contatto diretto con il terreno, se esposto all'atmosfera, se in ambiente coperto;
- La grandezza dell'intervento, ovvero la quantità di bambù da preservare;
- L'arco temporale di azione, ovvero il tempo a disposizione sino alla messa in opera;
- Il budget disponibile;
- Le supposte cause di degrado, ovvero di carattere biotico (funghi o insetti) o abiotico (crepe ed erosione per fenomeni atmosferici);
- La reperibilità delle sostanze chimiche;
- Le specie di bambù da trattare, poiché alcune sono più facilmente trattabili di altre.

Tra i **metodi di origine naturale** sono raccolte le tecniche tradizionali praticate nei Paesi dove il bambù è sempre cresciuto spontaneamente: essi sono di semplice realizzazione ed economicamente vantaggiosi, poiché non richiedono l'utilizzo di strumentazione specifica; allo stesso tempo però risultano inadatti per interventi di protezione a lungo termine.

In questa categoria sono particolarmente rilevanti la stagionatura per immersione in acqua, la stagionatura per affumicamento e tramite cottura e il lavaggio con calce. Ulteriori soluzioni tradizionali sono rappresentate dal trattamento per traspirazione e dall'immersione nel fango.

La **stagionatura per immersione** consiste nel porre i culmi verdi immersi in acqua corrente o in vasche per diverse settimane. Se posti all'interno di vasche è necessario predisporre un ricambio settimanale dell'acqua per evitare il proliferare di batteri. I diaframmi dei culmi devono essere forati per permettere al liquido di scorrere attraverso tutta la lunghezza degli elementi.
Il processo di immersione favorisce l'eliminazione degli amidi e zuccheri naturalmente contenuti nel bambù, La pianta non è quindi più appetibile per gli insetti. Viene inoltre migliorata la sua permeabilità, utile per un ipotetico secondo trattamento per diffusione e pressione. Successivamente i prodotti vengono stoccati in ambiente ben ventilato e protetto dalla pioggia, ma le loro prestazioni meccaniche vengono influenzate sino ai 2-3 mesi (NMBA 2006).

La **stagionatura per affumicamento** prevede che i culmi siano posti in prossimità di una fiamma, ad una distanza di 30 o 40 cm. L'effetto del calore provoca la morte degli insetti e riduce il contenuto di umidità, abbassando in modo consistente il rischio di degradazione biologica.
L'aumento di temperatura facilita l'eventuale correzione delle imperfezioni permettendo di ottenere culmi più dritti; inoltre la resistenza allo splitting viene amplificata. Grazie all'affumicamento il bambù si ricopre di uno strato protettivo creato dal fumo, utile ad attenuare gli effetti dei raggi solari sugli strati superficiali.

Figura 44. A) Trattamento per immersione in vasca; B) Culmi dopo il processo di affumicamento; C) Piegatura dei culmi (web).

La **stagionatura tramite calore** viene sperimentata inizialmente come valido rimedio per raddrizzare i culmi storti. Durante il processo il bambù viene fatto ruotare su una fiamma viva, al fine di evitare il surriscaldamento localizzato su una porzione ridotta del culmo. L'alta temperatura distrugge l'amido e altri zuccheri presenti; induce inoltre il bambù a produrre spontaneamente uno strato naturale di autoprotezione. Come per l'affumicamento anche eventuali colonie di insetti vengono debellate.
Le tensioni prodotte durante il riscaldamento danno stabilità dimensionale al culmo. Un contenuto di umidità ridotto previene ogni potenziale attacco successivo da parte di organismi unicellulari, se collocato in ambiente interno.

Un'altra possibilità di trattamento è rappresentata dal **lavaggio con calce**. Esso viene solitamente effettuato per motivi ornamentali, infatti inibisce la propensione del bambù ad assorbire acqua e agisce contro la formazione di funghi sulla superficie, oltre a dare una colorazione più neutra. I culmi di bambù vengono ricoperti di calce spenta che attraverso processi chimici dà luogo al carbonato di calcio.

Sfortunatamente tutti i metodi naturali hanno un effetto limitato e perciò non sono normalmente raccomandati per strutture permanenti in bambù; potrebbero invece risultare appropriate per prolungare la vita di elementi non strutturali o di strutture provvisorie quali i Temporary Shelter.

Altre tipologie di trattamento preservante sono quelle realizzate con sostanze chimiche. Esse possono essere classificate in **trattamenti chimici** a lungo termine o a breve termine, a seconda delle necessità di utilizzo del bambù, ma si sviluppano tutte dal medesimo principio, ovvero quello di far penetrare tossine nella parete del culmo per prevenire l'attacco di insetti e funghi. Anche di queste metodologie ne esistono numerose varietà, alcune più adeguate ad un utilizzo interno (*non-fixing types*), come il boro, il borato di sodio e l'acido borico; altre in grado di resistere ad un ambiente esterno (*fixing types*), come l'arsenocromato di rame o l'arseniato di rame ammoniacale.
Questi ultimi comportano rischi maggiori per la sicurezza e la salute, differentemente dal boro, che è presente in alcune forme anche in natura (Schroder 2012). Per questo motivo sono in corso numerose sperimentazioni volte a risolvere il problema principale del boro: a causa della sua solubilità nell'ambiente è frequente la sua fuoriuscita dai culmi se sottoposti a condizioni di forte umidità che comporta la riduzione delle capacità conservative. Similmente sta accadendo per mitigare i rischi dei preservanti a base rame: essi non sono più in associazione con arsenico e cromo, risultando meno tossici di un tempo. Essi sono validi contro l'attacco di funghi, termiti e coleotteri e sembra che vengano assorbiti con facilità dal bambù, motivo che li rende efficaci in uso esterno. Avvalersi di questi prodotti richiede un investimento maggiore, poiché la loro penetrazione nel materiale richiede trattamenti a pressione semi-industriali.

Figura 45. Trattamento dei culmi per immersione in acqua calda (web).

I metodi a breve termine vengono applicati tramite spray, tramite pennello o per immersione rapida. I metodi a lungo termine presuppongono invece applicazioni in grado di diffondersi più capillarmente nella parete e nei nodi del culmo.
Tra questi sistemi vi è l'**immersione**, discendente dal suo corrispondente metodo tradizionale, la diffusione verticale per capillarità e il metodo Boucherie.

La **diffusione verticale** richiede che i culmi verdi vengano mantenuti in posizione verticale all'interno di una vasca. Le estremità inferiori entrano in contatto con il liquido

preservante che per capillarità risale attraverso i vasi e si estende per diffusione. L'operazione richiede tempi variabili a seconda del contenuto di umidità e della lunghezza dei culmi.

Il **metodo Boucherie** è uno tra i più efficaci. Da realizzarsi con bambù fresco, consiste nel favorire la penetrazione del preservante per gravità (*Boucherie*) o per pressione pneumatica (*Boucherie modificato*), sostituendosi alla linfa. La sostanza liquida confluisce poi in un recipiente di fine raccolta. La versione modificata è considerata ad oggi uno dei metodi di trattamento più rapidi: ogni culmo richiede 30 minuti più il tempo di preparazione della strumentazione. È altresì indispensabile che esso venga trattato entro 12 ore dal momento del taglio affinché l'applicazione abbia successo, penetrando nei vasi della parete prima che si richiudano.
Esso risulta essere anche piuttosto economico, poiché la sostanza chimica può essere utilizzata più volte. Un ulteriore vantaggio è dato dalla possibilità di effettuare l'operazione senza dover forare tutti i diaframmi, permettendo dunque di preservare la maggior resistenza meccanica dei nodi in risposta ai possibili effetti di splitting e buckling. Avere diaframmi integri è inoltre utile se si prevede di riempire alcuni internodi con il calcestruzzo, evitando colature negli internodi adiacenti (Kaminski et al 2016).

Al fine di una valutazione accurata è necessario precisare che le procedure di smaltimento dei culmi trattati con prodotti chimici sono da tenere in alta considerazione; differentemente dai trattamenti tradizionali richiedono inoltre un investimento economico iniziale molto più elevato.

Figura 46. A) Trattamento dei culmi per diffusione verticale; B) metodo Boucherie modificato (web).

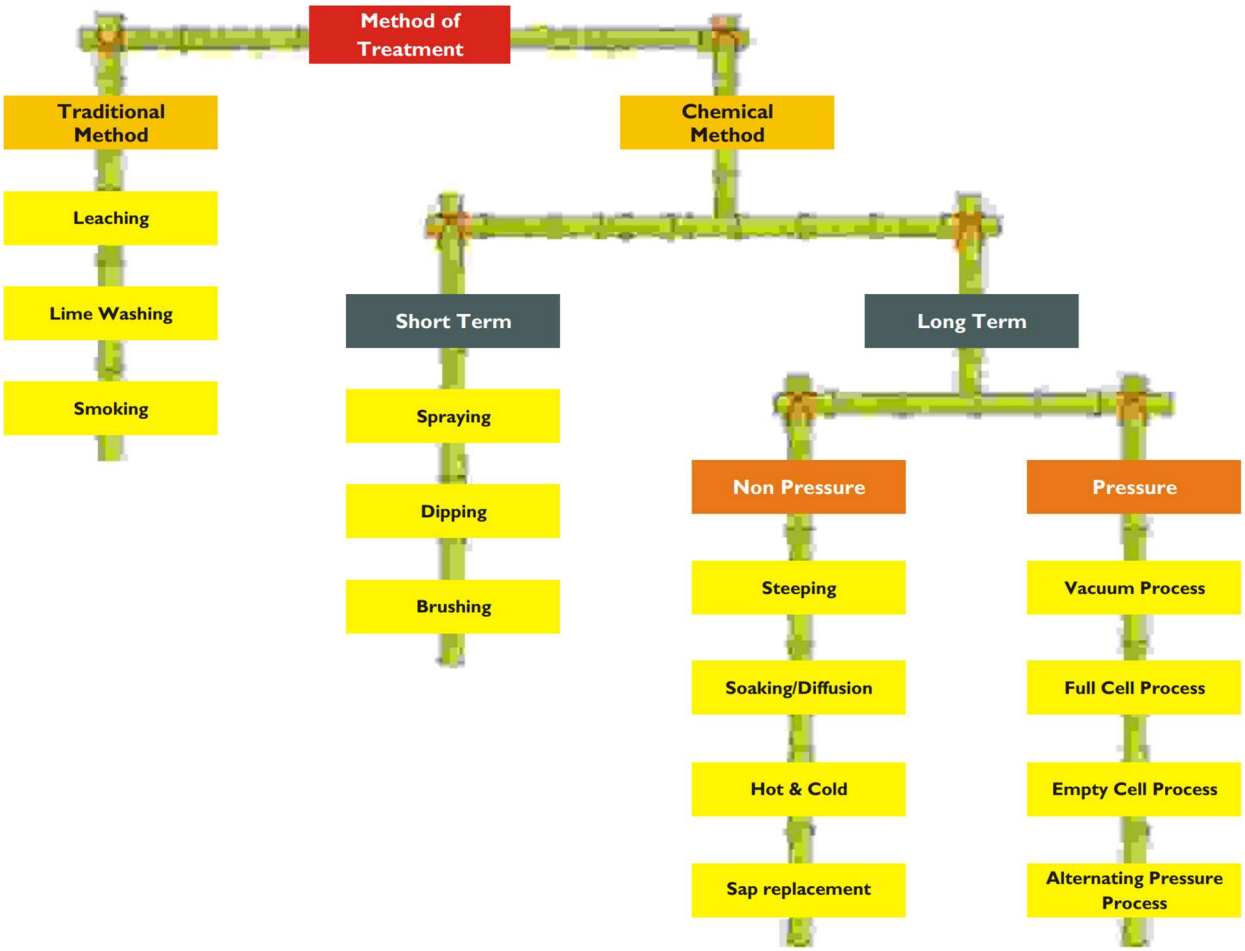


Figura 47. Metodi di trattamento preservante.

L'efficacia di questi trattamenti dipende molto dalla penetrazione dei prodotti nel tessuto del culmo: è importante conoscere quindi le caratteristiche morfologiche delle diverse specie di bambù, nonché la loro risposta ai trattamenti di preservazione. Il bambù è più resistente del legno alla penetrazione degli agenti chimici. La penetrazione radiale attraverso la parete esterna del culmo è ostacolata dalla resistenza esercitata dall'epidermide e dalla cera che protegge il culmo, la diffusione avviene perciò quasi completamente per via longitudinale. In generale i bambù giovani rispondono in maniera più veloce ai trattamenti; allo stesso tempo la concentrazione di preservante da utilizzare deve essere in quantità maggiore.

La combinazione di differenti trattamenti porta solitamente a ottenere migliori risultati.
Il trattamento ad immersione è ad esempio in grado di migliorare sensibilmente l'assorbimento delle sostanze preservanti. Esso è ulteriormente velocizzato nel caso si utilizzi acqua calda.

3.3.2 Stagionatura

Il processo di stagionatura assume grande importanza nella preparazione dei culmi ad uso strutturale.
Esso permette di abbassare con gradualità il contenuto intrinseco di umidità avvicinandolo al valore di umidità in cui prenderà avvio la fase di esercizio. Il bambù secco è maggiormente resistente all'attacco di funghi ed insetti.
È consigliabile effettuare la stagionatura in prossimità del luogo di produzione, e in ogni caso svolgere questa operazione prima del trasporto all'area di impiego. Grazie al processo di essiccazione viene limitato il rischio di restringimento non uniforme durante il ciclo di vita del prodotto finale, che potrebbe altrimenti compromettere le connessioni tra differenti elementi. Al fine di ridurre la probabilità di incorrere in fessurazioni o crepe anche la fase di stagionatura deve essere lenta e controllata. Per culmi di grande

diametro l'essiccazione tramite solo stoccaggio potrebbe richiedere numerosi mesi, perciò è possibile velocizzare il processo attraverso l'utilizzo di essiccatoi solari o forni.

Figura 48. A) Culmi esposti verticalmente per processo di asciugatura (web). B) Culmi stoccati in luogo riparato e ventilato (web).

3.3.3 Connessioni efficaci

Un ulteriore possibilità di prolungare la vita utile dell'edificio è rappresentata dallo studio di connessioni efficaci. I giunti rappresentano infatti un punto nodale all'interno di qualsiasi progetto di abitazione in bambù, poiché ne determinano la risposta alle sollecitazioni meccaniche.
Particolare attenzione va posta alle connessioni tra elementi strutturali: il danneggiamento di edifici in bambù sottoposti a fenomeni meteorologici estremi parte proprio dal collasso strutturale dei giunti di connessione (ISO 22156:2004).

Si ritiene dunque di grande importanza la descrizione di alcuni giunti e l'approfondimento del loro funzionamento effettivo, per sviscerarne le debolezze e le opportunità.

A tal fine ci si avvale della classificazione dei giunti proposta da J.J. Janssen nel 1981, che si basa sulle diverse tipologie di trasmissione dello sforzo. Sebbene essa necessiti di un aggiornamento per includere le sperimentazioni degli anni più recenti mantiene ad oggi una sua autorevolezza.
Tale suddivisione si basa su tre principi:

1) Un giunto tra due culmi interi può essere realizzato per contatto tra le intere sezioni trasversali dei culmi o per trasferimento degli sforzi da una sezione trasversale ad un elemento di connessione;
2) Le sollecitazioni possono derivare dalle pareti interne, dalle pareti esterne o dalle sezioni trasversali del culmo;
3) L'elemento di connessione può correre parallelo alle fibre o perpendicolare alle stesse.

Basandosi su questi criteri i giunti sono così classificati:

- *Gruppo 1 full cross-section* - Sezione
- *Gruppo 2 from inside to an element parallel*
- *Gruppo 3 from inside to an element perpendicular*
- *Gruppo 4 from cross-section to element parallel*
- *Gruppo 5 from cross-section to element perpendicular*
- *Gruppo 6 from outside to element parallel*
- *Gruppo 7 from outside to element perpendicular*
- *Gruppo 8 for split bamboo*

3.3.3.1 Connessioni tradizionali ed evoluzioni

Dal punto di vista tecnologico è possibile partire dalla presentazione degli **intagli fondamentali**, ovvero le sagomature che caratterizzano la maggior parte dei giunti di connessione, per poi approfondire il funzionamento di alcuni giunti più complessi.

Dal momento che la trasmissione degli sforzi tra differenti elementi di bambù avviene nel maggior parte delle connessioni per contatto diretto tra le parti, si può quindi affermare, a titolo generale, che ad una maggiore superficie di contatto corrisponde una migliore risposta meccanica.
Proprio su questo presupposto si fonda l'origine delle principali tipologie di connessioni tradizionali. Tra queste quelle maggiormente utilizzate sono l'intaglio a bocca di pesce e a becco di flauto. La loro sagomatura permette la massima aderenza tra i culmi che compongono il nodo tecnologico.

L'accortezza insita in queste due soluzioni è quella di rendere collaborativa tutta la sezione di taglio in risposta alla sollecitazione, oltre a creare un profilo che per sua conformazione aderisce con maggior superficie, andando a generare maggior attrito e facilitando così la realizzazione di un incastro.

La sagomatura del **taglio a bocca di pesce** garantisce i vantaggi sopra descritti ma pone al contempo di fronte ad una problematica: considerato che il bambù è un profilo cavo la superficie a contatto è piuttosto ridotta. Questo comporta che in culmo con taglio a bocca di pesce si generino sforzi tangenziali di tensione nella parte superiore del culmo creando una fessura nella direzione del carico e uno sforzo ultimo minore rispetto ad un culmo con taglio retto (Denittis 2018).
Dal grafico delle tensioni elaborato nello studio di Takeuchi, Ayala e Castillo del 2016 emerge come l'inizio della fessura coincida proprio con il punto di concentrazione delle tensioni (figura 49C e D). In conclusione essi dichiarano che la resistenza media alla compressione parallela alle fibre è ridotta del 30% rispetto a quella di un culmo con taglio retto, se l'estremità viene cerchiata con una fascetta metallica.
Ciononostante i risultati della loro sperimentazione non valutano il comportamento del culmo all'interno di una struttura, bensì approfondiscono il solo comportamento meccanico del singolo elemento. Ciò lascia spazio a possibili ulteriori considerazioni circa la validità della tecnica: un'analisi del comportamento globale e la comparazione con altre soluzioni potrebbe portare a rivedere questa sagomatura, che rappresenta ancora oggi una delle tecniche tradizionali maggiormente utilizzate per la praticità e la facilità che la contraddistinguono.

L'**intaglio a becco di flauto** viene invece utilizzato per connettere culmi che formano un angolo di giunzione diverso da 90 gradi. Essa è spesso utilizzata nella realizzazione di capriate o travi reticolari.

Figura 49. A) Taglio a bocca di pesce con perno tensore in metallo; B) Fissaggio di un culmo con taglio a becco di flauto. C) Prova di compressione per taglio a bocca di pesce; D) in viola e rosso le aree maggiormente sollecitate (Takeuchi et al. 2016).

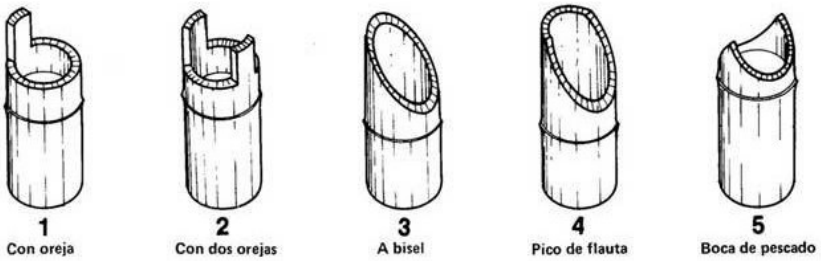


Figura 50. Intagli per diverse giunzioni in bambù (Oscar Hidalgo Lopez 1981).

Tornando su un piano generale risulta interessante approfondire le fasi che seguono alla scelta dell'intaglio, poiché sono anch'esse determinanti per il successo del nodo.

Qualsiasi tipo di intaglio richiede infatti che la connessione tra i culmi sia completata tramite l'introduzione di un ulteriore vincolo. Esso può essere realizzato attraverso una **legatura** con la corda, uno **spinotto di legno** oppure con **giunzioni metalliche** di diverso tipo.

Queste tre possibilità di completamento del nodo si basano su due modalità differenti di trasmissione dello sforzo: l'utilizzo della sola corda si avvale sostanzialmente della forza di attrito, al punto che queste legature sono anche definite *friction-tight rope connections*. Secondo la classificazione di Janssen esse rientrano nel *Gruppo 1: Full cross section*, proprio perché la trasmissione degli sforzi avviene per contatto dell'intera sezione del culmo.
Gli altri due metodi prevedono invece che la resistenza alla sollecitazione del carico gravi completamente sull'elemento passante e che il bambù non partecipi; il collasso della struttura avviene infatti in questi casi a causa della rottura di questo 'elemento. Se si utilizzano viti di acciaio questo tipo di meccanismo può portare dei vantaggi in termini di rigidità e duttilità della connessione, che non possono però essere sempre garantiti dall'impiego di passanti lignei (Greco 2016).

Connessione tramite corda

Tradizionalmente il *lashing*, ovvero la legatura tramite corda, è stata la prima forma di connessione per elementi in bambù. Essa prevede oggi l'utilizzo di corde di origine sia naturale, come la fibra di cocco o palma, il rattan, la fibra corticale del bambù, che artificiale, come il nylon, il fil di ferro zincato o altre fibre sintetiche.
A livello tecnico è possibile realizzare una moltitudine di nodi differenti; i più comuni includono la legatura quadra, la legatura diagonale e la legatura parallela.

Figura 51. Operai realizzano legature per sistema di copertura in Bangladesh.

Il *lashing* permette una grande flessibilità ed è adattabile a molte configurazioni di nodi; tuttavia richiede tempi lunghi e abilità manuali specifiche per mantenere le proprie prestazioni inalterate. Se non effettuato correttamente il nodo tende ad allentarsi dopo un certo periodo di tempo.
Inoltre le corde di origine naturale devono essere sostituite ogni 2-3 anni, soprattutto se esposte ai fenomeni atmosferici come pioggia, sole, umidità e variazioni di temperatura che portano a facile corrosione e degrado.
La rigidezza della connessione è molto spesso insufficiente: se la distribuzione delle forze interne al nodo non è uniforme la corda potrebbe incorrere in rotture improvvise (Hong 2019).

Allo scopo di rendere la connessione maggiormente resistente è quindi possibile utilizzare la legatura in combinazione con elementi passanti in bambù o legno (*pinning*).

Connessione tramite elemento passante

La tecnica dell'elemento passante (*plug-in connection*) trova larghissima applicazione, non soltanto all'interno dei manuali che esemplificano le procedure di esecuzione tradizionale dei giunti, ma anche nelle connessioni assiali proposte da alcune normative, nell'opzione con elementi passanti in acciaio associate a bulloni.
L'elemento passante può quindi essere di diversa natura: talvolta è realizzato con materiale ligneo, talvolta con spinotti di bambù o giunti metallici (figura 53A).
I culmi di bambù possono essere connessi utilizzando bulloni filettati con dadi e rondelle alle estremità. L'impiego di bulloni e barre d'acciaio consente la creazione di connessioni complesse, che spesso non sono possibili con le legature; talvolta invece l'introduzione di elementi metallici permette di affinare tecniche giù utilizzate.
Tra questi ultimi rientra il metodo del perno tensore, come diretta evoluzione delle tecniche plug-in in bambù e in legno. Esso prevede la creazione di un foro in prossimità del nodo, solitamente ad una distanza di non più di 3 cm, dove viene inserito un elemento trasversale di piccole dimensioni, che attraversa il culmo da parte a parte. A questo elemento rigido viene agganciata in senso perpendicolare una barra metallica che corre all'interno del culmo, parallelamente alle fibre, per poi fuoriuscire dal culmo trasversale ed essere fissata esternamente. La presenza di un elemento avvitabile (vite o barra filettata con dado) consente di mettere in tensione il sistema e ottenere una connessione rigida nel suo piano.

Le connessioni precedentemente trattate riguardano anche la giunzione di più di due culmi. Per ovviare alle conseguenze di un possibile splitting gli elementi strutturali non sono mai composti da un solo bambù, ma prevedono l'associazione di più elementi paralleli, solitamente in numero minimo di due sia per le travi che per i pilastri. Come è possibile desumere dalle immagini le possibilità di associazione sono numerose e includono talvolta piccoli elementi di rinforzo nei punti maggiormente sollecitati (figura 53B e 54C).

In conclusione, questo tipo di connessione risulta molto vantaggioso per la rapidità e facilità di realizzazione, oltre a non richiedere l'utilizzo di strumentazione specifica.
Trattandosi di una connessione a secco è generalmente possibile effettuare la sostituzione di elementi danneggiati o compiere manutenzioni periodiche, verificando la tensione corretta del nodo.
Avvalersi di questa soluzione tecnica presuppone una buona comprensione di principi cardine della progettazione strutturale e del principio statico della triangolazione, poiché ogni giunto si comporta come nodo cerniera.
Parallelamente è da tenere sotto controllo il processo di foratura: l'impiego dell'elemento passante porta a sollecitare uno dei punti più deboli del bambù, ovvero la resistenza intrafibra.
Per questo motivo è fondamentale studiare il numero e la collocazione delle forature lungo il culmo. Si consiglia di effettuare un numero ridotto di fori, sempre in prossimità di un nodo, e possibilmente non allineati lungo il culmo, per evitare di sollecitare le medesime fibre.

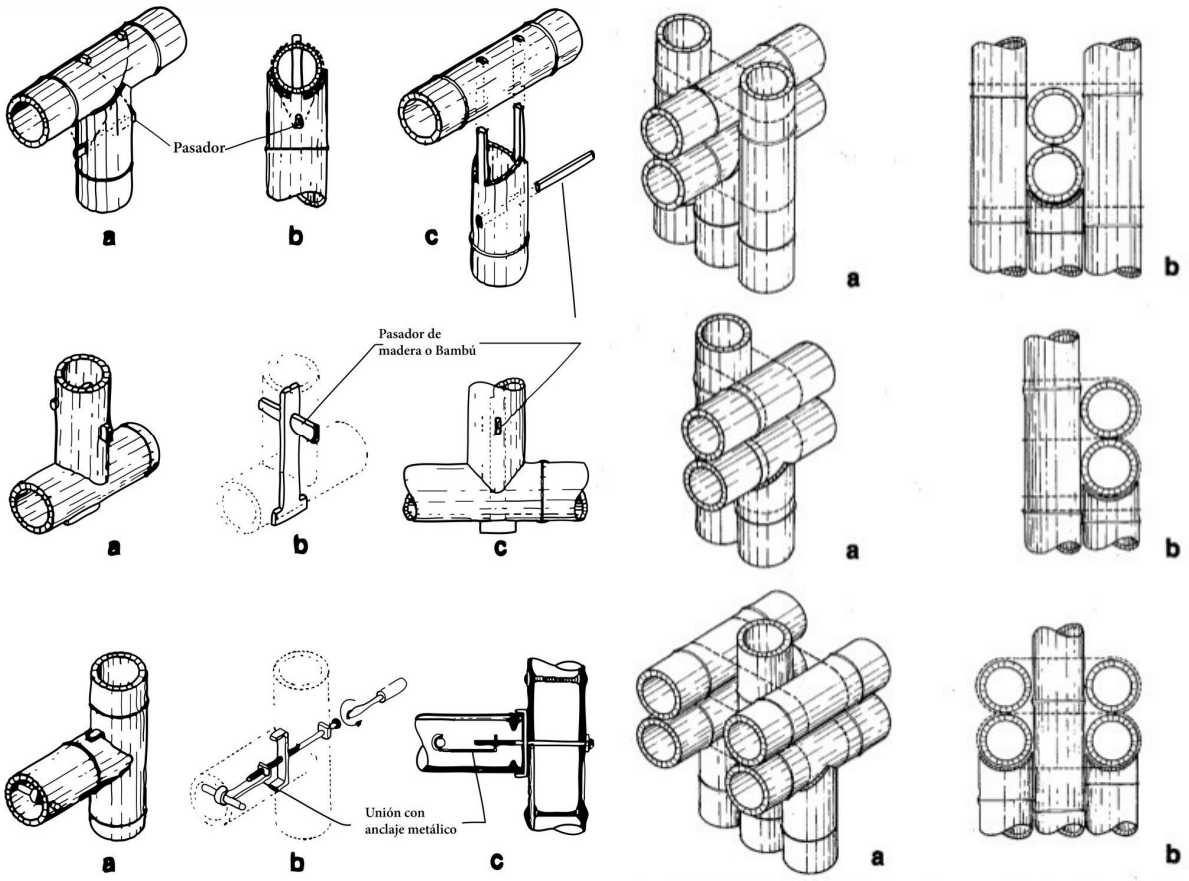


Figura 52. A) Connessioni con elemento passante o plug-in; B) Connessioni tra pilastri e travi tramite corda (O. Hidalgo Lopez 1981).

Figura 53. A) Connessione plug-in con spinotto in bambù; B) Connessione plug-in con spinotto ligneo; C) Associazione di legatura e spinotto ligneo; D) Legatura su elementi strutturali in fasci di bambù.

Figura 54. Giunti con elementi passanti in acciaio. A) Barra filettata e dado, B) Bulloni e plug-in di legno (web).

Connessione tramite riempimento in calcestruzzo

Il calcestruzzo viene invece utilizzato per irrigidire i giunti che devono sopportare grandi sforzi di taglio, in particolare nel punto di contatto tra la struttura in elevazione verticale e la fondazione.
Il processo prevede che nell'internodo venga praticato un foro di massimo 2,5 cm di diametro dove viene colato il calcestruzzo. Esso verrà poi richiuso successivamente.
Considerando il ritiro del calcestruzzo dovuto all'asciugatura è suggeribile ridurre il contenuto di cemento a 1/4 o 1/5, per ridurre al minimo la possibilità di fessurazioni.
Il riempimento con il calcestruzzo si accompagna spesso alla presenza di barre d'acciaio, come teorizzato da Simón Vélez (Yoshimura 2017). L'estremità inferiore delle barre viene inglobata nella struttura di fondazione mentre l'altro estremo viene inserito all'interno dei culmi che giungono verticalmente o diagonalmente all'attacco a terra. Talvolta il rinforzo con gli elementi metallici può avvenire anche esternamente, in questi casi la gettata di calcestruzzo è utile ai fini di irrigidimento del nodo ma non per la stabilizzazione della staffa.

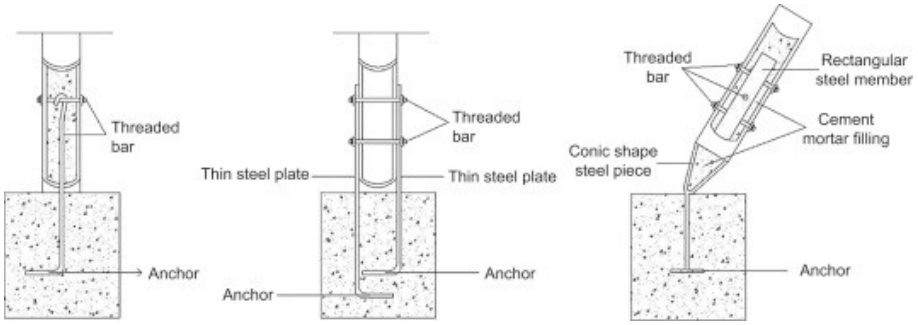


Figura 55. Diverse tipologie di realizzazione dell'attacco tra bambù e struttura di fondazione.

Figura 56. A) Fondazione con inserimento di calcestruzzo e barre metalliche(lucilaaguilar.com); B) Fissaggio tramite staffe; C) Fondazione tramite elementi metallici (Simon Velez); D) Fori di Inserimento del calcestruzzo (web).

Figura 57. Fondazione su piedistalli di calcestruzzo (Anna Heringer).

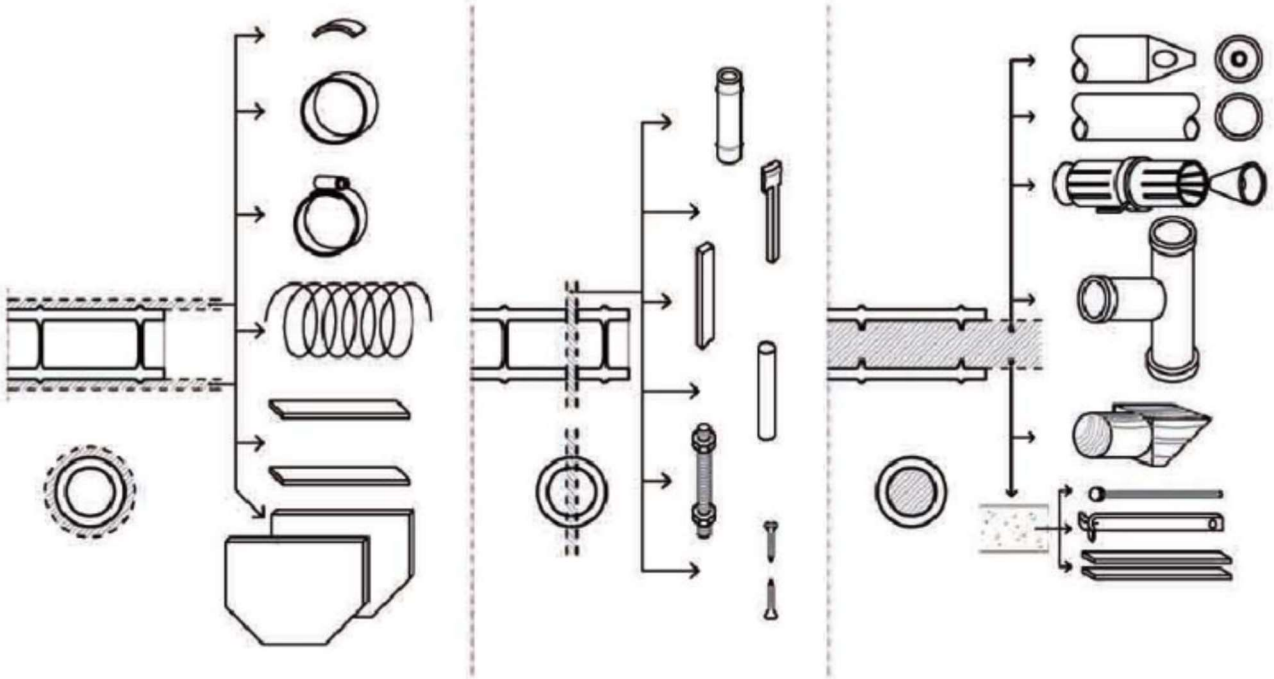


Figura 58. Mappa delle diverse connessioni possibili: (da dx) fissate esternamente, perpendicolari alle fibre, inserite internamente (Widyowijatnoko 2012).

L'adozione di giunti bullonati e l'introduzione di soluzioni ibride con il calcestruzzo e il legno porta ad un utilizzo più diffuso del bambù nel settore delle costruzioni. Le realizzazioni spaziano verso architetture più sofisticate che presentano un maggior numero di ordini e nodi costruttivi sempre più complessi.

Parallelamente si assiste ad un nuovo interesse verso metodi di connessione non convenzionali. Grazie all'impulso dato dall'introduzione di alcune normative nazionali, prendono avvio numerose ricerche sperimentali sul bambù, con il fine di sondarne le proprietà e le possibilità di utilizzo attraverso codici condivisi di calcolo e verifica (Golden 2018). L'esistenza delle normative nazionali permette l'ottenimento di risultati comparabili e una valutazione più oggettiva delle soluzioni tecniche, contribuendo ad una sempre maggior conoscenza del materiale.

Nell'ottica di indagare differenti soluzioni tecniche si procede quindi con l'esemplificare alcune connessioni non convenzionali per strutture bidimensionali. Successivamente verranno presentate le connessioni applicabili in sistemi più articolati, come le *space-frame structures*.

Connessioni non convenzionali per strutture planari

Le soluzioni che seguono sono volte all'impiego del bambù in ambito costruttivo attraverso strategie di mitigazione delle sue fragilità. Molte proposte danno particolare rilievo alla bassa resistenza al taglio: ciò comporta che esse prevedano un numero ridotto di forature nel culmo, poiché ritenute una delle maggiori cause di splitting.

La seguente soluzione, studiata da R. Moran e J. García nel 2019, si articola proprio a partire da questo concetto, con l'intenzione di proporre un giunto capace di trasmettere il momento.

Essi sviluppano infatti un giunto per strutture planari composto essenzialmente da morse che abbracciano la parete esterna del culmo. Ad esse si associano piccoli profili metallici.
Le morse consentono grande versatilità ed evitano il collasso prematuro della struttura.

Il giunto viene testato in tre configurazioni, che differiscono tra loro per la presenza o assenza di forature. Il primo campione presenta cinque morse semplici e profili d'acciaio senza alcuna foratura nel culmo; il secondo e il terzo sviluppano la prima soluzione con l'aggiunta di barre filettate passanti attraverso il culmo (figura 59b) oppure con l'inserimento di viti non passanti (figura 59c).
Tutte le soluzioni prevedono la connessione di un elemento trave e un elemento pilastro con culmi sagomati a taglio retto.
Se comparati ai giunti convenzionali in acciaio e riempimento in calcestruzzo si calcola che la rigidezza media sia incrementata del 29% e la resistenza meccanica del 250%.

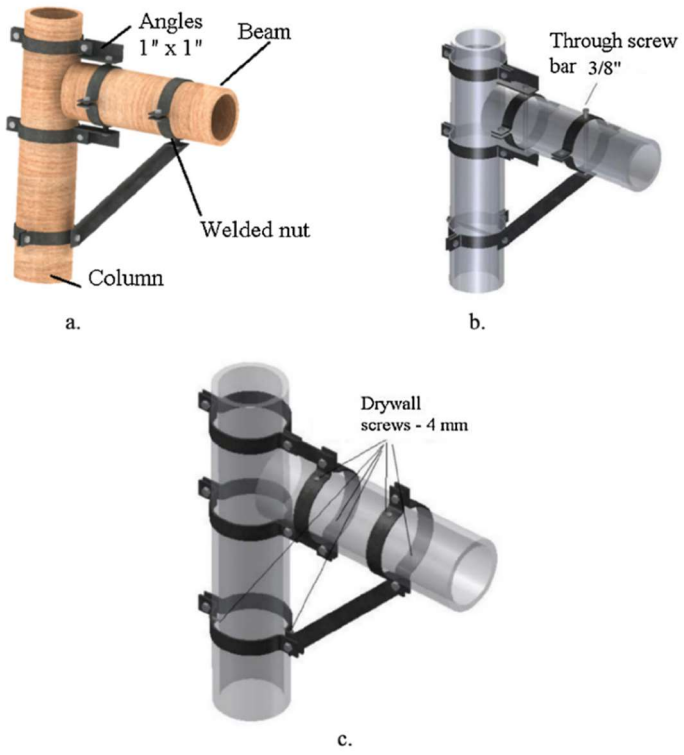


Figura 59. Giunto che permette la trasmissione del momento. A) morsa semplice; b) morsa e barra filettata passante; c) morsa e avvitatura senza trapasso del culmo (Moran e García 2019).

Nell'ottica di proporre giunti capaci di appianare le debolezze del bambù si ritiene adeguata la soluzione tecnica approfondita da Mauricio Cardenas per la *Energy Efficient Bamboo House*.
In questo caso l'architetto arriva a proporre una connessione ingegnerizzata, progettata e prodotta per ridurre al minimo le forature nei culmi, solitamente utilizzate per fa passare le barre filettate di giunzione.
Il sistema prevede che i giunti che arrivano da diverse direzioni vengano sorretti da diverse **piastre metalliche** che compongono l'intero giunto. In questo modo parte del carico sostenuto da ogni culmo viene trasferito sulla piastra metallica, ampliando l'area di distribuzione dello sforzo che grava su quelli sottostanti e in ultimo sui pilastri.
Riducendo la sollecitazione trasversale sui culmi si riduce drasticamente il rischio di frattura del culmo.
Inoltre la distanza tra le piastre può essere ampliata o ridotta tramite a seconda delle dimensioni dei culmi che si utilizzano, andando a mitigare un'altra delle difficoltà del materiale, ovvero una rastremazione più o meno marcata a seconda della specie e la quasi impossibilità di ottenere culmi con diametro perfettamente identico. Il sistema è infatti in grado di adattarsi ad alcune piccole variazioni grazie ad un layer elastico collocato sopra ogni piatto metallico, che permette di aumentare l'attrito e ridurre in questo modo lo scivolamento e la rotazione del bambù (Hong 2019).

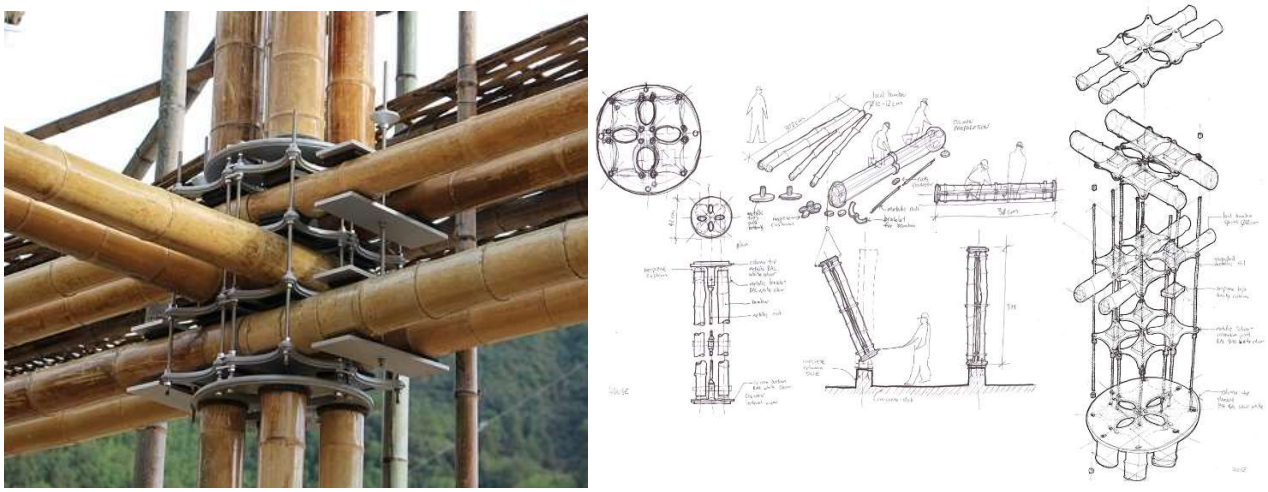


Figura 60. A) Giunto ingegnerizzato per la Energy Efficient Bamboo House; B) schizzi di progetto, Mauricio Cardenas (archdaily.com).

Un'ulteriore accortezza di Cardenas nel progetto della *Bamboo House* è quella di non prevedere il riempimento con calcestruzzo dei culmi a contatto con la fondazione, differentemente da quanto avviene solitamente per rendere bambù e fondazioni maggiormente collaboranti.
Queste due soluzioni permettono a Cardenas di avere maggiore agilità nel sostituire i culmi danneggiati, nell'ottica di una strategia di manutenzione e ricambio che non è tipica delle abitazioni in bambù. Come riportato anche da Elizabeth Golden (2018) nelle Filippine non si era soliti fare manutenzione sulla propria abitazione ma si era abituati ad abbandonarla quando eccessivamente danneggiata, per poi costruirne un'altra a fianco di quella in decadenza. In quanto materiale naturale, se non trattato il bambù si degradava in fretta; talvolta piccole porzioni venivano utilizzate per necessità contingenti.
Nell'applicare questa soluzione tecnologica in un contesto di scarsità risulta potenzialmente limitante l'eccessiva ingegnerizzazione del giunto, che per essere prodotto richiede macchinari specifici ad alta precisione. Inoltre non è chiaro il comportamento della struttura alle spinte orizzontali, che nel contesto di progetto sono di grande entità a causa del vento.

Connessioni non convenzionali per strutture tridimensionali

Le soluzioni sinora presentate sono ampiamente applicabili nella realizzazione di strutture planari, ovvero frame nei quali gli elementi portanti si sviluppano lungo un unico piano, per poi connettersi ad elementi appartenenti al piano ad esso trasversale (Widyowijatnoko 2012). Difficilmente queste tecniche di giunzione risultano sufficienti nella risoluzione delle connessioni di strutture reticolari spaziali, o *space-frame structures*.
Per questo motivo sono state studiate e sperimentate numerose tecniche innovative, che prevedono l'utilizzo del bambù in sostituzione al legno o all'acciaio nelle strutture reticolari.

La gran parte delle strutture reticolari è solita utilizzare aste cave di forma circolare o quadrata, adottate per le loro migliori performance di resistenza meccanica, ovvero principalmente l'azione assiale pura di trazione e compressione, con un effetto secondario di flessione.
Le strutture reticolari rappresentano inoltre la miglior soluzione per coprire spazi caratterizzati da ampie luci (Ghavami 1993). Esse sono solitamente composte da due livelli: i correnti superiori e inferiori si sviluppano parallelamente in lunghezza, interconnessi da elementi verticali, detti montanti, e da elementi diagonali. Come precedentemente riportato il vantaggio intrinseco di questa tipologia di elementi strutturali è la loro capacità di trasmettere solamente sforzi assiali, eliminando l'eccentricità nel trasferimento del carico.

Sebbene sul piano teorico la morfologia del bambù sia adeguata all'impiego in strutture reticolari, sul piano pratico la realizzazione dei giunti è piuttosto complessa.
Generalmente anche il loro costo è piuttosto elevato, soprattutto se comparato alle alternative offerte dai metodi tradizionali (spinotti lignei o di bambù) o convenzionali (barre filettate o bulloni, piastre di legno).

Figura 61. A) Struttura tridimensionale per la copertura di uno spazio didattico, Leiko Motomura (amima-arquitetura.com); B) Bamboo pavilion ad Arles, Simón Vélez (divisare.com).

Il nodo tecnologico si compone solitamente di un elemento centrale in acciaio, studiato ad hoc per il nodo in questione, al quale vengono fissati i culmi, tramite l'impiego di altre componenti metalliche in essi inseriti.
Tra le numerose configurazioni attuabili è possibile dividere i metodi di fissaggio in due categorie. Vi sono giunti che si connettono al bambù **per via esterna**, altri **per via interna**. Entrambe le soluzioni possono includere la foratura del culmo.
Gli esempi di seguito approfonditi mostrano in particolare connessioni che assorbono gli sforzi dagli strati interni della parete per poi trasmetterli verso l'esterno. Questo sistema risulta preferibile perché permette di risolvere alcune problematiche tipiche delle costruzioni in bambù, tra i quali il disallineamento degli elementi e la non uniforme distribuzione degli sforzi di compressione, dovuta all'eccentricità dei carichi (Arce Villalobos 1993).

Connessioni con foratura del culmo

Tra le sperimentazioni maggiormente interessanti si riporta quella condotta da Tim Obermann. Essa rientra tra i giunti che trasmettono le sollecitazioni attraverso alcuni elementi passanti realizzati in acciaio ed è realizzata a secco. Gli elementi passanti forano il bambù e sono connessi ad un elemento tubolare che è inserito all'interno del culmo. L'elemento tubolare termina con una forma conica, alla cui estremità si colloca l'elemento centrale dell'intero giunto, ovvero una sfera metallica.

Al di là del rischio insito nel numero elevato di forature previste, la potenzialità del giunto proposto risiede nella ricerca di una tecnica flessibile, leggera e assemblabile a partire da componenti semplici e di facile reperibilità. La sfera con inviti filettati è infatti un componente esistente sul mercato; inoltre è potenzialmente realizzabile con inviti in differenti posizioni a seconda della configurazione richiesta dalla struttura.

Il peso del giunto risulta essere di circa 1,5 kg, diversamente dalle connessioni irrigidite con il calcestruzzo che pesano intorno ai 3,5 kg (Obermann e Laude 2004).

Essa è studiata per culmi dalle prestazioni meccaniche ben definite: il test viene condotto su culmi della specie Guadua, di quattro anni d'età e con un diametro di 9 cm e uno spessore di parete di 1,5 cm, corrispondenti alla porzione inferiore della pianta (*cepa*).

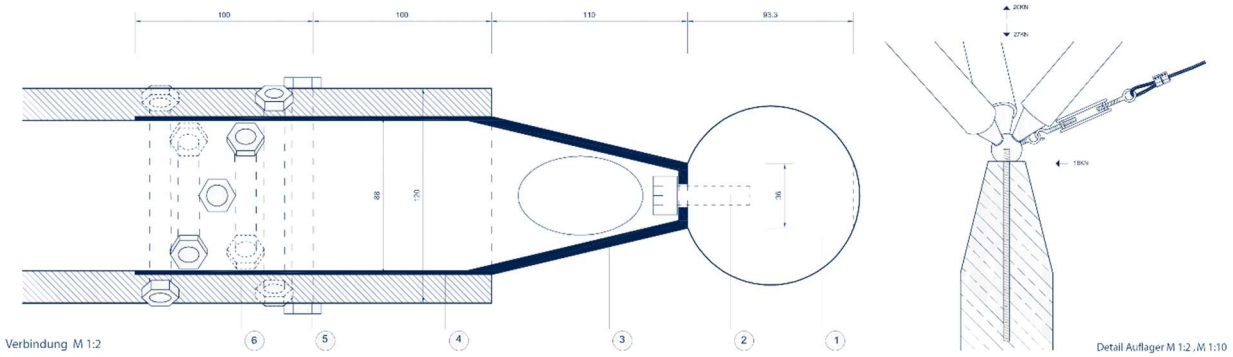


Figura 62. A) Sezione del giunto proposto da Tim Obermann; B) Attacco tra il giunto e la fondazione (web).

Connessioni senza forature del culmo

Un'alternativa alla foratura dei culmi consiste nel creare giunti in grado di adattarsi perfettamente alla forma del materiale. Talvolta essi abbracciano l'estremità del culmo, talvolta lo sostengono per mezzo di un elemento simile ad una staffa a bicchiere.

Nel caso riportato in figura 47A le aste sono vincolate agli estremi da una cerniera metallica centrale per mezzo di elementi di acciaio: essi avvolgono il culmo evitando il rischio di fessurazione longitudinale e consentono di ampliare le possibilità di relazione tra i culmi, favorendo il fissaggio di aste appartenenti a piani distinti e con diversa inclinazione.

Tra le soluzioni rispettose dell'integrità della parete rientra anche il sistema ibrido di calcestruzzo e acciaio, dove l'elemento metallico viene saldamente ancorato al bambù attraverso il riempimento del culmo con il calcestruzzo. A questa categoria appartengono numerosi metodi di assemblaggio ampiamente diffusi nei paesi sudamericani.

Figura 63. A) Bamboo Pavilion - Keystone Footers - Guadua Tech Project (bamboocraft.net); B) Giunto ingegnerizzato acciaio e riempimento in calcestruzzo, Bamboo Pavilion Expo Shanghai (inspiration.detail.de); C) giunto in acciaio e calcestruzzo con cerchiatura esterna in cavo metallico (amima-arquitetura.com.br); connessione tramite forature e giunto metallico Tim Obermann.

Tra I giunti che prevedono una connessione per via interna si presenta inoltre il **giunto metallico reversibile** di Simone Cantoni. Anch'esso rappresenta il risultato di una ricerca sperimentale, terminata con la realizzazione di un prototipo in scala reale, ove il giunto è stato testato all'interno di una maglia strutturale.
La proposta si configura come un sistema di connessione che si adatta ai diversi diametri dei culmi senza richiedere fori o intagli. Il giunto è infatti costituito da un perno centrale collegato a delle piastre laterali che espandendosi vanno a premere contro le pareti interne del culmo. La pressione interna viene contenuta con l'applicazione di una fascia metallica posta all'esterno in corrispondenza dei punti di pressione, come avviene solitamente anche nei culmi rinforzati con il calcestruzzo.
Il giunto viene definito "reversibile" poiché creato con l'intenzione di risolvere l'irreversibilità a cui è solitamente soggetto questo tipo di connessione: quando il giunto si spezza, collassa anche il culmo e viceversa, annullando la possibilità di riutilizzare l'uno o l'altro elemento.
La progettazione del giunto parte dall'analisi della morfologia di una struttura reticolare e dallo studio del comportamento all'interno del sistema progettato, ove l'elemento asta è formato dal sistema giunto-culmo-giunto. Esso deve essere sufficientemente solido per contrastare i carichi di progetto: ciò comporta che le parti che compongono il sistema devono avere tutte proprietà meccaniche adeguate, e deve al contempo sussistere un'adeguata continuità strutturale fra i diversi elementi.
Assunto per vero che le dimensioni del culmo, altezza e area della sezione, sono adeguate rispetto ai carichi, viene approfondita la trasmissione delle sollecitazioni dal culmo al giunto. È forse scontato far presente che il culmo, dal momento che è al centro del sistema, è la porzione maggiormente sollecitata.

Su un piano statico è necessario vincolare il culmo affinchè non trasli lungo gli assi x,y e z e non ruoti attorno a x e y. Con questo obiettivo vengono inserite le piastre interne al culmo, che per attrito contrastano la sollecitazione assiale e bloccano la rotazione.

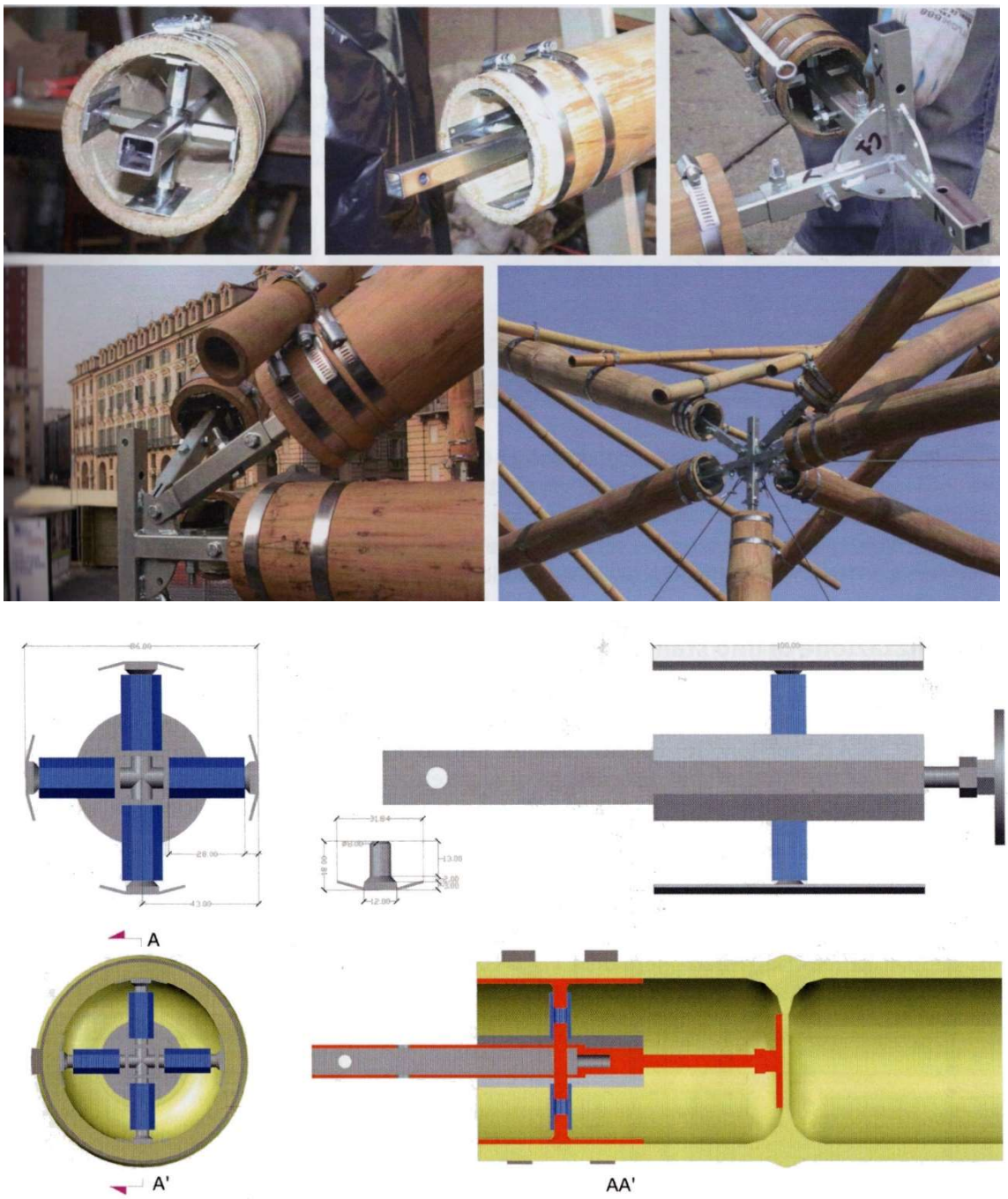


Figura 64. Giunto reversibile di Simone Cantoni (Caltabiano e Lacirignola 2012).

3.3.4 Rinforzo degli internodi per sollecitazioni trasversali alle fibre

Sulla linea di quanto precedentemente presentato circa la ridotta resistenza meccanica dei culmi a sollecitazione trasversale si ritiene opportuno esemplificare alcune soluzioni tecniche, allo scopo di fornire un quadro completo da cui poter attingere per la fase progettuale.
Le seguenti soluzioni hanno il fine di incrementare la resistenza dei culmi a sforzi di taglio e di compressione perpendicolare alle fibre, talvolta influendo anche sulle prestazioni in termini di resistenza a flessione perpendicolare alle fibre.

I primi metodi storicamente introdotti si basano su **sistemi ad incastro**, molto simili a quelli utilizzati tutt'oggi anche per le realizzazioni in legno. Essi sfruttano la cavità naturale del bambù, proponendo delle soluzioni che secondo la classificazione di Janssen rientrano nel *Gruppo 2: Joints from inside to an element parallel*.
Dall'associazione tra gli incastri e le corde di fibre naturali è possibile creare giunzioni contraddistinte da una discreta rigidezza, seppur sufficientemente flessibili per adattarsi alle variazioni del materiale durante il suo ciclo di vita.
Nello specifico il metodo prevede che nella cavità del culmo orizzontale venga inserito un ulteriore elemento in grado di riempire il vuoto e ampliare lo spessore della porzione di materiale sottoposta al carico. Questo elemento può essere di due tipi: un culmo di minor diametro o un elemento ligneo. Esso viene incastrato all'interno della cavità e talvolta ulteriormente fissato tramite l'inserimento di spine trasversali, che attraversano il culmo e l'elemento da una parte all'altra.
Questo processo può richiedere che alcuni diaframmi del culmo vengano distrutti al fine di garantire il passaggio dell'elemento di irrigidimento.
Secondo le tecniche tradizionali all'inserimento delle spine di bambù segue la realizzazione di una legatura, volta a mantenere salda la giunzione.
In questo caso l'aggiunta dell'elemento nella cavità contribuisce alla resistenza del culmo alle sollecitazioni di flessione.

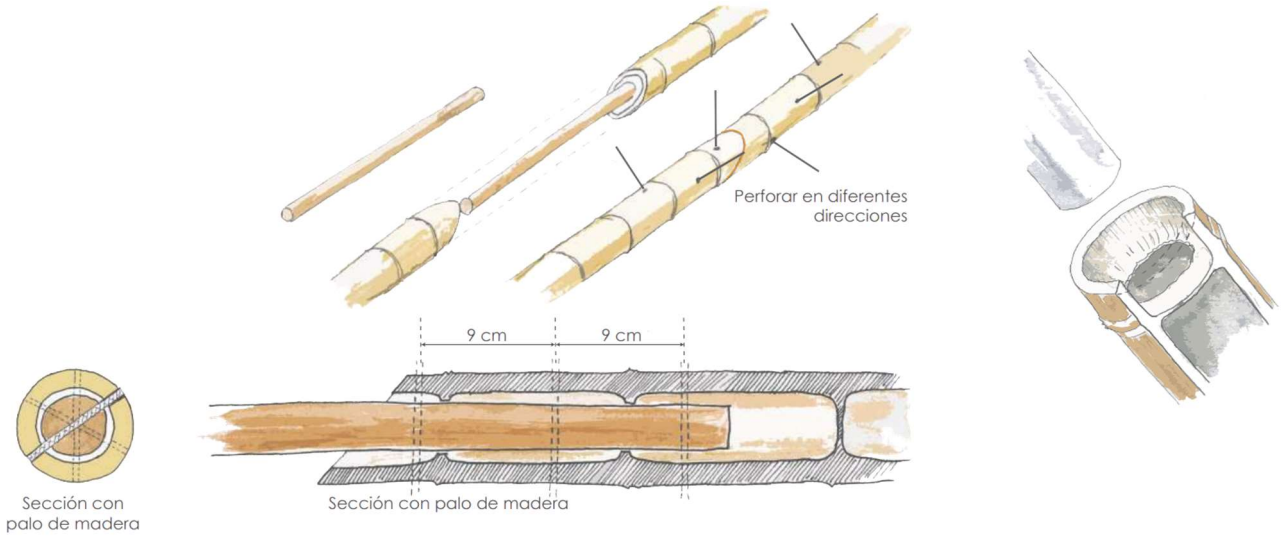


Figura 65. A) Inserimento di elemento in legno; B) inserimento di elemento metallico (Lucila Aguilar).

Un'ulteriore soluzione è rappresentata dall'**ibridazione tra bambù e calcestruzzo**, già precedentemente presentata. Inizialmente sperimentata ad opera di Simón Vélez essa è stata applicata con numerose rivisitazioni in diversi Paesi del mondo.
Questa tecnica, risolutiva per il miglioramento delle prestazioni meccaniche, porta però con sé due criticità: da un lato l'aumento consistente della massa e dall'altra il comportamento contrastante di due materiali in risposta all'umidità dell'ambiente. Di fronte ad un cambiamento di umidità dell'aria il bambù reagisce con un ritiro maggiore rispetto al conglomerato cementizio, rischiando quindi di fessurarsi (Greco 2016).

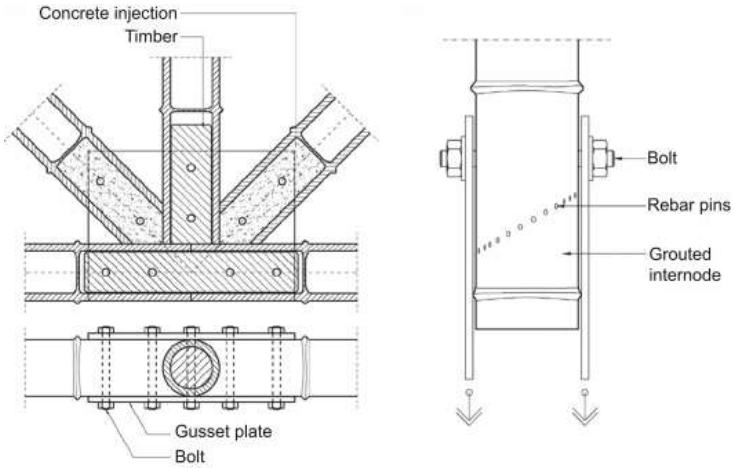


Figura 66. A) Piastra metallica di connessione con inserimento di calcestruzzo e giunzione bullonata; B) Giunto rinforzato con calcestruzzo.

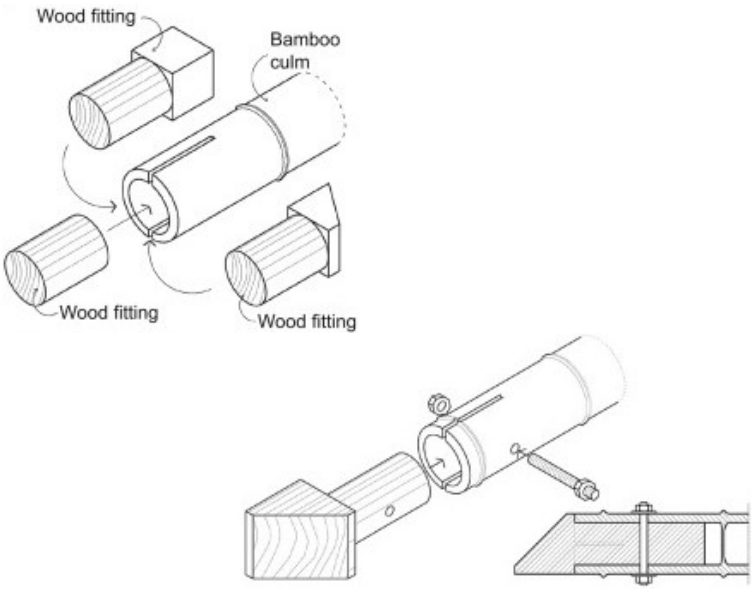


Figura 67. A) Soluzione ibrida bambù e legno, senza forature e con foratura ed elemento passante (Arce Villalobos 1993); B) Costruzione di una casa tradizionale bhutanese con il metodo wood fitting di Arce Villalobos (Inbar.int).

Per far fronte a queste problematiche altre ipotesi sono state vagliate nel tempo. Tra queste risulta ad oggi degna di nota la soluzione ibrida con l'utilizzo di **bambù e legno**, detta anche *wood fitting*, introdotta nel 1993 grazie agli studi di Oscar Arce Villalobos.

Essa si differenzia in modo sostanziale dalla precedente per due motivi: in primis perchè si tratta di un sistema a secco e secondariamente perché i due materiali attuano un comportamento più simile, risultando dunque più compatibili.
Il componente ligneo viene pensato allo scopo di riempire la cavità del culmo: esso viene opportunamente levigato per essere inserito nell'estremità circolare cava del bambù, lasciandolo sporgere per favorire la sua connessione agli altri elementi strutturali; successivamente l'elemento viene saldato per mezzo di una colla, ma solo dopo aver effettuato una attenta levigatura dell'interno del culmo. La regione di distribuzione interna degli sforzi da taglio aumenta significativamente così come la sezione trasversale, in questo modo diminuiscono gli sforzi concentrati che andrebbero a generare fessurazioni lungo la parete (Arce Villalobos 1993). Inoltre anche la sezione trasversale aumenta e ciò permette di ridurre anche gli sforzi di flessione, se comparati a quelli dell'internodo adiacente ove il bambù risponde autonomamente alle sollecitazioni. Il rischio di fessurazioni è ridotto anche dalla creazione di due tagli, che permettono minime variazioni nel diametro senza compromettere l'intero sistema. Si ammette con tale tecnica una possibile differenza tra i due diametri fino a 10 mm.
Il sistema esiste anche in una variante con elemento passante metallico, che comporta però le medesime conseguenze di splitting già ampiamente presentate.

In conclusione si riportano le principali tematiche per la progettazione dei giunti:

- Requisiti di progetto: le soluzioni devono soddisfare i requisiti posti in fase di progetto su differenti piani;
- Consapevolezza di limiti e potenzialità del bambù: la progettazione deve puntare alla valorizzazione di queste ultime e alla mitigazione delle sue fragilità;
- Adattabilità e modularità: appare chiara l'importanza di studiare giunti adattabili a differenti dimensioni dei culmi e applicabili tramite sistemi modulari. Differentemente dal passato, in cui la modularità e replicabilità non erano sentite come esigenze fondamentali, questi temi sono oggi di estrema rilevanza. La progettazione modulare rappresenta una grande opportunità per lo sviluppo di abitazioni dignitose a basso costo, anche in contesti di scarsità (Janssen 2000);
- Stabilità: le performance della struttura devono rimanere inalterate per il tempo e l'utilizzo definito in fase di progetto, questo compito è demandato in particolar modo ai giunti;
- Prevedibilità della resistenza: la generale carenza di normative sulla progettazione dei giunti in molti paesi rende difficile la comparazione tra differenti soluzioni tecniche e la valutazione della loro compatibilità con condizioni di forte sollecitazione, soprattutto per quanto concerne le connessioni non convenzionali (Hong 2020).
- Affidabilità del materiale: Le proprietà fisiche e meccaniche dei materiali utilizzati per le connessioni devono essere uniformi, al fine di garantire performance adeguate.
- Valutazione economica: i giunti rappresentano già di per sé una delle componenti più costose nel processo di costruzione di un edificio. Inoltre essi influenzano ulteriormente il costo totale dell'opera perché la loro scelta comporta variazioni nella quantità di materiale adeguata, nei tempi di costruzione, nella manodopera necessaria e nelle differenti soluzioni progettuali (Arce Villalobos 1993).

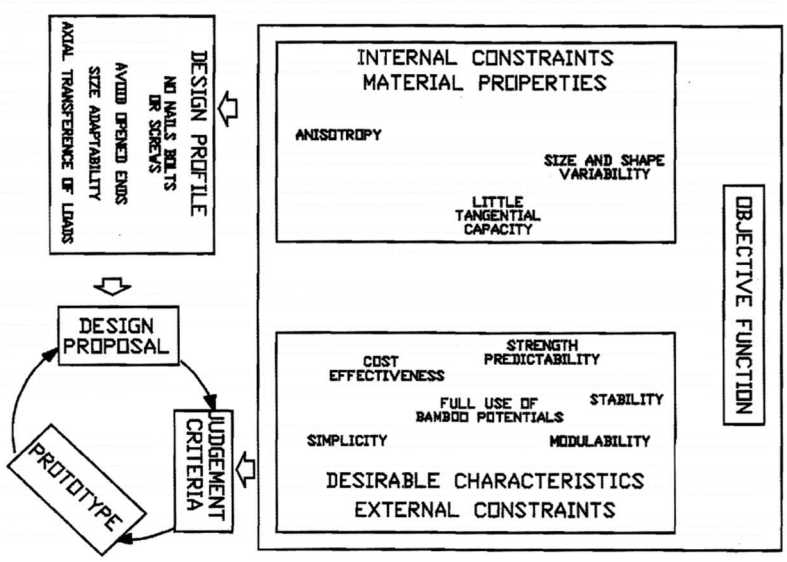


Figura 68. Bamboo Design Approach (Arce Villalobos 1993).

3.4 Linee guida per costruire con il bambù

Dall'analisi delle soluzioni proposte e dai limiti e potenzialità presentate si definiscono le linee guida per progettare con il bambù.
Allo scopo di realizzare strutture in bambù che preservino le loro caratteristiche nel tempo è necessario pianificare la realizzazione con le seguenti accortezze progettuali.

Nella fase di progetto:

- La scelta del sito di realizzazione dell'edificio deve tener conto dei vantaggi forniti da una buona ventilazione, preferire perciò luoghi contraddistinti da una sufficiente ventilazione naturale;
- Anche l'orientamento può essere determinante: sono preferibili soluzioni che garantiscono condizioni alternate di luce e ombra;
- La valutazione della specie con cui costruire è un'operazione da compiere con attenzione: le condizioni climatiche del luogo di realizzazione dell'edificio devono possibilmente rispecchiare quelle del luogo di coltivazione della pianta, in particolar modo se la struttura in bambù non viene rivestita da altri materiali ma resta in contatto diretto con l'ambiente esterno;
- Valorizzare le ottime proprietà del bambù a sforzi di tensione, essi sono circa il doppio dei valori di resistenza a compressione;
- Evitare il contatto diretto tra gli elementi in bambù e il suolo (Dunbar 2017);
- Proteggere i culmi di bambù dalla pioggia e dai raggi solari diretti, utilizzando uno sporto di gronda adeguato a ridurre gli effetti della pioggia di stravento e delle radiazioni solari basse (Trujillo et al. 2013);
- Evitare la compressione di porzioni ridotte del culmo per pesi localizzati; se necessario riempire il culmo con il calcestruzzo per impedirne fessurazioni.
- Per gli elementi strutturali quali travi o pilastri è consigliabile ragionare per ridondanza: ciò consiste nel progettare elementi strutturali composti da più culmi legati insieme, in modo da ridurre i danni causati dalla fessurazione o splitting di uno dei culmi. Ciò è suggerito anche per la naturale variabilità delle caratteristiche dei culmi, che non permette di calcolare l'esatta portata di ogni elemento strutturale;
- Allo stesso modo è importante pensare, in fase di progetto, alla possibile sostituzione di uno dei culmi se dovesse risultare severamente danneggiato. La legatura tra più culmi potrebbe favorire questo processo grazie alla compresenza di più elementi che svolgono la medesima funzione e che potrebbero quindi sostenere la struttura nell'operazione di sostituzione;
- Scegliere accuratamente dove posizionare le connessioni tra diversi giunti: esse devono sempre trovarsi in prossimità di un nodo, altrimenti è necessario prevedere strategie di irrigidimento;
- Progettare un collasso controllato della struttura, in modo da permettere agli abitanti di mettersi in sicurezza con anticipo;
- Studiare giunti di connessione adeguati alle sollecitazioni previste; soluzioni eccessivamente rigide possono portare a fenomeni di fessurazione anticipata;

Nella fase di pianificazione del cantiere:

- Utilizzare una materia prima di qualità. I culmi devono risultare integri e sani a partire dall'aspetto visivo, non devono mostrare fori o segni di imputrimento, decolorazioni o deformazioni eccessive; Culmi con internodi maggiori di 50 cm sono sconsigliati per uso strutturale (Morán 2015);
- Sottoporre i culmi a essiccatura e trattamenti preservanti;
- Prevedere un luogo di stoccaggio adeguatamente ventilato e con un'ampia copertura;
- Evitare conche di raccolta dell'acqua in prossimità delle fondazioni;
- Considerare le variazioni nel diametro e nello spessore di parete durante il processo di selezione dei culmi; sceglierli in base alla funzione strutturale che svolgeranno;
- Applicare una logica di ridondanza nel reperire i culmi necessari alla costruzione: potrebbe nascere l'esigenza di avere a disposizione diversi culmi per la risoluzione di problemi puntuali;

Nella fase di costruzione:

- Ai fini del mantenimento è necessario chiudere le estremità dei culmi con uno scampolo di tessuto ricoperto di calcestruzzo, oppure inserendo segatura o calce mista a colla per legno (Morán 2015);
- Se possibile assemblare i culmi in modo che ogni elemento costruttivo abbia le due estremità chiuse dai diaframmi;
- Utilizzare il bambù per le applicazioni a cui risulta maggiormente adatto, a partire dai possibili utilizzi dei materiali costruttivi ottenibili dai culmi interi;

Nella fase di utilizzo:

- Per le canne esposte alle intemperie si consiglia di applicare sulla superficie esterna un olio e di ripetere il trattamento di manutenzione ogni 6 mesi;
- Il controllo dello stato di degrado di tutte le componenti deve essere condotto con frequenza.

4. IL PROGETTO

4.1. Esigenze progettuali

Il progetto sviluppa una proposta di Shelter come risposta ad una catastrofe naturale in un contesto caratterizzato da frequenti inondazioni e vento superiore ai 250 km/h, oltre che da un elevato rischio di tifoni. Tale scenario di rischio è associato a condizioni climatiche tipiche delle zone tropicali, contraddistinto dunque da caldo umido e frequenti precipitazioni nei mesi di monsone. Per questo motivo le esigenze che guidano il processo progettuale derivano da differenti piani, che vengono di seguito esposti.

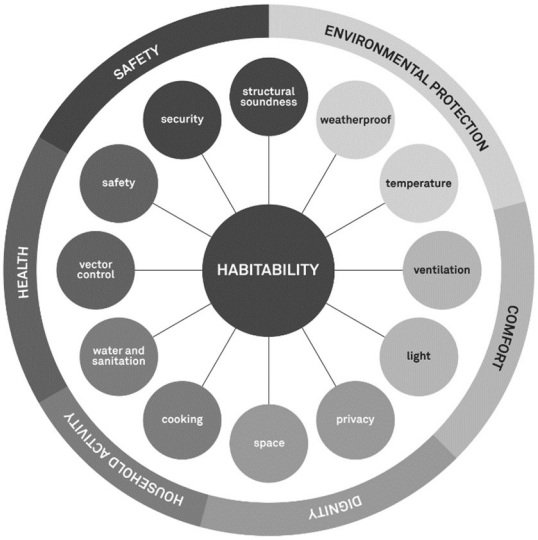


Figura 69. Criteri chiave per la valutazione dell'abitabilità (Da Silva 2008).

4.1.1 Esigenze sul piano umanitario

Per quanto concerne il piano umanitario appare fondamentale attenersi ai *Minimum Humanitarian Standards for Shelter and Settlement* dello Sphere Handbook, i quali forniscono indicazioni pratiche, sebbene piuttosto generali, per la progettazione di uno Shelter adeguato, ovvero in grado di sostenere l'individuo nel trovare risposta ai suoi **bisogni fondamentali**.
Le caratteristiche dello Shelter riflettono dunque l'importanza di assolvere in primis ai bisogni fisiologici e di sicurezza, nonché a porre le basi per il soddisfacimento dei bisogni di appartenenza, di stima e di autorealizzazione[6]. Vengono dunque esplicitate alcune linee guida, precedentemente approfondite nel paragrafo 2.2, afferenti ai seguenti ambiti: vivibilità, privacy, sicurezza, adeguatezza degli spazi e dei materiali, luce e ventilazione naturale, comfort termico, accessibilità a servizi sanitari e a servizi per la preparazione dei cibi.

Alle esigenze sopra descritte devono necessariamente essere affiancati i bisogni derivanti dalla condizione post disastro: qualsiasi siano le condizioni al contorno permangono validi due concetti: la necessità di controllo della **variabile temporale** e della **variabile economica** (IFRC 2013).
Il carattere di urgenza dell'intervento non deve essere sottovalutato né nella fase di *emergency* immediatamente successiva alla catastrofe né nella fase di *recovery*. Lo Shelter deve poter quindi realizzarsi in tempi rapidi per rappresentare un'opzione appetibile per la popolazione colpita. Allo stesso modo deve essere perseguita la ricerca di soluzioni abitative adeguate ma a basso costo, utili per supportare un ampio numero di persone durante l'intero processo di azione umanitaria, e applicati secondo i concetti di equità ed efficacia[7].
Le componenti di tempo e costi sono direttamente influenzate dai **materiali e delle tecniche costruttive** di cui ci si avvale, perciò una scelta adeguata di questi parametri può essere determinante nella *Shelter response*. Al fine del contenimento dei costi e dei tempi di fornitura dei materiali sono dunque da preferire i materiali reperibili in loco, il cui impiego può favorire la rimessa in moto dell'economia locale, spesso gravemente danneggiata a seguito di catastrofi di grandi dimensioni (Hirano 2012). Inoltre l'utilizzo dei materiali locali può favorire un più facile coinvolgimento della popolazione nei processi di costruzione o autocostruzione e l'utilizzo di tecniche costruttive autoctone (IFRC 2015).

La flessibilità ed efficacia dello shelter può essere incrementata modulando le componenti del progetto a partire dalle dimensioni caratteristiche del materiale o dalle dimensioni standard del prodotto presente sul mercato. In questo modo è possibile ridurre gli sprechi di materiale e si rendono più agevoli la prefabbricazione, l'assemblaggio in loco e l'eventuale ampliamento o modifica del design.

[6] Secondo la piramide dei bisogni di A. Maslow (1954).
[7] "We built 200 beautiful shelters, but 500,000 people lost their homes. We supported 0.2% of those in need of shelter. There was no money left to support durable reconstruction", IFRC 2013, op. cit., p.13.

Nel prevedere la prefabbricazione di alcuni componenti risulta essenziale considerare le potenziali difficoltà di accesso ai lotti, che potrebbero permettere talvolta solo accesso pedestre, soprattutto in area urbana (The World Bank 2016). Ciò si traduce nell'importanza di un controllo accurato del peso e delle dimensioni degli elementi che si utilizzeranno. L'avvalersi di prodotti già presenti sul mercato di settore rappresenta di per sé una valida opzione per alcune componenti, come le fondazioni, che richiedono tempi lunghi se realizzate in opera; al contempo si diminuiscono i rischi di realizzazione impropria, solitamente a vantaggio di sicurezza[8].

4.1.2 Esigenze del contesto climatico

Un ulteriore ambito che necessita di approfondimento è il contesto climatico in cui il progetto si colloca, dal momento che l'insieme delle caratteristiche meteorologiche di un luogo influenza in modo sostanziale i bisogni dell'individuo che vi abita e di riflesso i requisiti che l'abitazione deve soddisfare.

In un contest caldo umido come quello previsto in fase di progetto le soluzioni tecnologiche devono tenere in considerazione la protezione da piogge frequenti e dai raggi solari diretti, una buona ventilazione interna e un sufficiente controllo della temperatura e dell'umidità.
Per quanto concerne la **protezione dalla pioggia** si richiede una copertura inclinata, capace di raccogliere e convogliare l'acqua piovana per favorirne lo scarico lontano dalle pareti e dalle aperture delle facciate. Essa risponde inoltre alla necessità di riparare l'ambiente interno dai **raggi solari**, includendo ove possibile uno sporto di gronda utile a offrire agli abitanti uno spazio aperto ma riparato. In contesti caratterizzati da vento molto forte le sporgenze del tetto non devono essere eccessivamente ampie, poiché risulterebbero eccessivamente sollecitate dal carico del vento (Sphere Association 2018). Al fine di ombreggiare possono essere sfruttate anche le persiane, o schermi leggeri posti a chiusura dei vani, apribili a sporgere. Con questa accortezza l'aria è libera di entrare mentre l'intensità dei raggi solari è ridotta.
Nell'ottica di mantenere una temperatura interna di **comfort** la copertura può essere composta da due strati, di cui quello esterno più leggero e riflettente e quello interno più massivo, al fine di creare una cavità ventilata (UN-HABITAT 2014).
La presenza di diverse aperture facilita la **ventilazione** interna, è però la loro collocazione a contribuire in maniera significativa al benessere dell'abitazione. Aperture su più muri adiacenti conducono solitamente a una migliore ventilazione incrociata, in particolare se posti a diverse altezze. La presenza di tettoie esterne favorisce l'ingresso di aria, convogliandola all'interno.
Inoltre può essere sfruttato l'effetto camino, tramite la creazione di una piccola apertura nella parete, in prossimità del pavimento e prevedendo un'altra apertura nella porzione alta di un'altra parete o nella copertura: l'aria fresca penetra nell'ambiente attraverso il foro posto in basso, per poi fuoriuscire più calda dall'apertura posta in sommità.
Queste strategie rientrano tra le tecniche di raffrescamento passivo, poiché non richiedono impiego di energia, bensì il loro funzionamento è dato dalla presenza di zone di pressione positiva e negativa, che favoriscono i moti dell'aria.
La protezione dall'**umidità** viene facilitata da una buona ventilazione; quella in risalita dal terreno può essere facilmente perseguita realizzando un modulo abitativo alzato da terra, che risponde inoltre in modo adeguato al rischio di inondazioni di modesta entità.

4.1.3 Esigenze dello scenario di rischio

Lo scenario di rischio entro cui il progetto ambisce ad inserirsi è caratterizzato dalla presenza di frequenti inondazioni nonché da tifoni di media e alta entità. Essi si presentano solitamente nell'arco di un periodo ben definito durante l'anno: tra giugno e novembre per l'oceano Atlantico e Pacifico, tra ottobre e maggio per l'Oceano Indiano, in concomitanza con la stagione dei monsoni. Per le Filippine il fenomeno si presenta con una incidenza media di 20 tifoni annui.

[8] Si stima che tra le maggiori cause di crollo ad Haiti vi furono la bassa qualità dei materiali da costruzione e la scorretta messa in opera (The World Bank 2016).

Al fine di fronteggiare tali eventi rivestono un ruolo fondamentale le misure di prevenzione e mitigazione del rischio, che permettono di ridurre la vulnerabilità delle persone e i potenziali danni materiali attraverso strumenti di pianificazione e progettazione, applicabili a diverse scale di intervento (Shelter Centre 2012).
Per quanto concerne l'ambito Shelter gli strumenti di *Disaster Risk Reduction* possono includere strategie riguardanti la collocazione dello shelter, i materiali e le **tecniche costruttive** nonché le **accortezze progettuali** e devono essere incorporate in tutte le fasi di implementazione dei programmi di *mid-term shelter*[9].
Tralasciando l'approfondimento della collocazione, sulla quale debbono essere condotte opportune verifiche, si ritiene interessante concentrarsi sui due successivi punti, che prevedono uno studio approfondito dal punto di vista architettonico e tecnologico.

Vento

In luoghi contraddistinti dalla presenza di forte vento vengono solitamente attuate due strategie: da una parte si incentiva l'utilizzo di materiali molto resistenti, capaci di opporsi con sufficiente resistenza meccanica ai carichi, dall'altra si prevede l'impiego di materiali flessibili, ovvero in grado di assecondare il movimento del vento attuando un comportamento elastico senza incorrere in rottura. Talvolta già in fase di progetto si prevede la realizzazione di parti "sacrificabili", ovvero componenti dell'abitazione volutamente più fragili, come ad esempio le pareti di tamponamento, in modo che possano essere danneggiate o portate via dal vento, permettendo alla struttura portante del Core Shelter, come i pilastri e le travi reticolari, di resistere all'impatto del disastro riducendo la superficie esposta alla sollecitazione (German Red Cross 2020).

Per le coperture realizzate in bambù il problema principale è rappresentato dai fenomeni di depressione dovuti al vento, poiché agiscono sugli strati di copertura e tendono a trascinare via il tetto (Janssen 1995).
Per questo motivo vengono generalmente inseriti dei giunti o delle fascette metalliche, denominate *hurricane steel straps*, opportunamente conformate per fissare gli elementi strutturali tra loro, allo scopo di favorire la distribuzione dei carichi a tutta la struttura ed evitare il collasso di alcune parti. L'inserimento di connessioni metalliche incrementa il comportamento duttile dell'intera struttura, e, se abbinato al legno o al bambù, può aiutare a contrastare il comportamento fragile dei due materiali (Kaminski 2016). Permane però l'importanza di approfondirli con accuratezza: i danni più diffusi nelle strutture in bambù a causa di terremoti o tifoni prendono spesso avvio dal collasso dei giunti per poi trasmettersi ai culmi. La struttura deve perciò avere delle connessioni progettate per resistere a sollecitazioni molto elevate, come quelle causate dalla presenza di vento o di scosse sismiche (Janssen 1981).
Oltre a connessioni resistenti e saldamente ancorate sarebbe adeguato curare la forma dell'edificio, prediligendo moduli compatti e regolari e l'inclinazione del tetto, che dovrebbe essere tra i 22 e i 30°, meglio se con falda a padiglione, per resistere meglio alle forze in grado di sollevarlo.

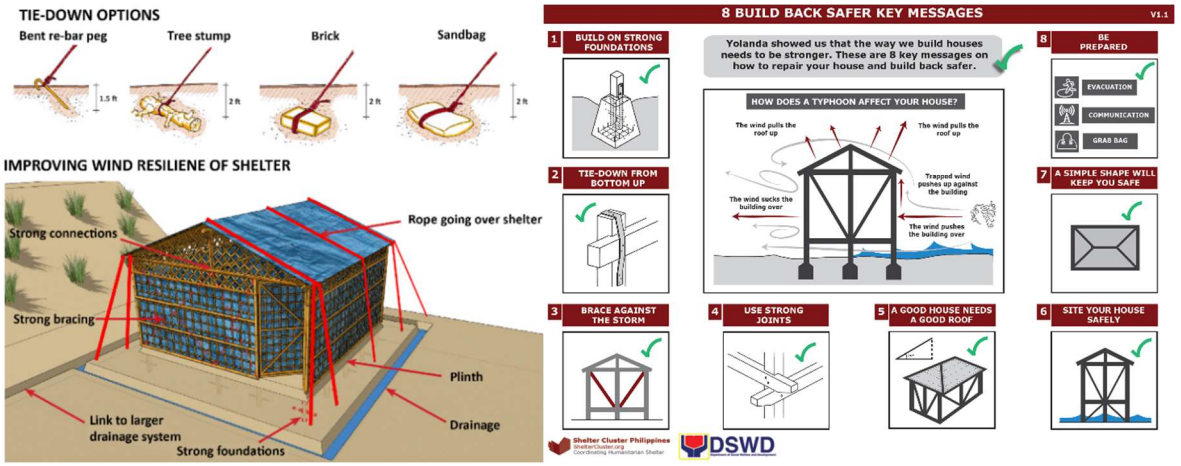


Figura 70. Poster per l'applicazione dei concetti Build Back Safer (Shelter Cluster Philippines 2016) e per il montaggio dei tie-down kit (Bangladesh).

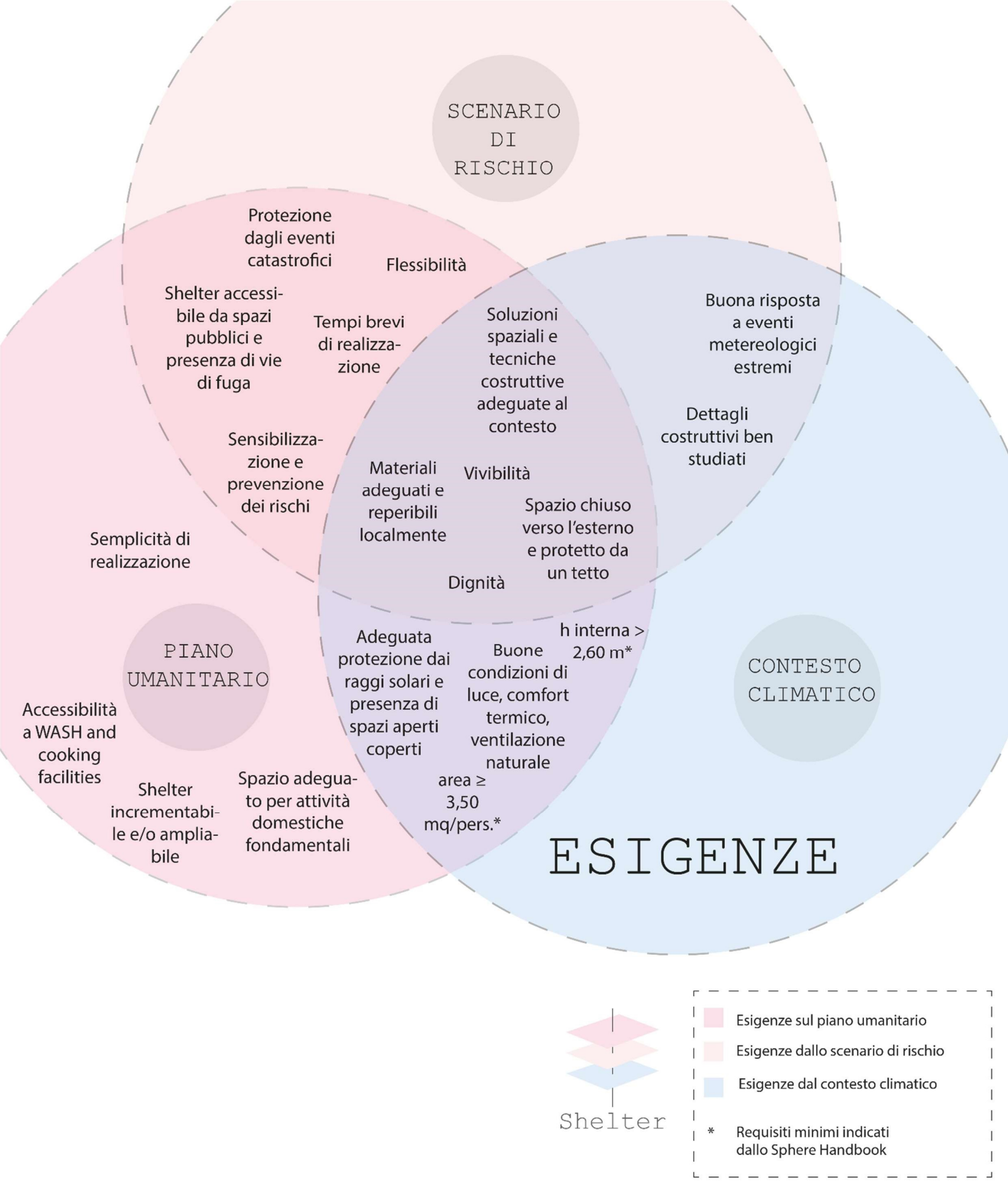
[9] Cox's Bazaar Site Management Sector, *Technical Guidelines for Mid-term Shelter Design*, 2018.

Dal momento che le strutture puntiformi in bambù sono maggiormente sensibili al vento per incrementare la stabilità è opportuno prevedere l'inserimento di sistemi di controventi oppure di travi reticolari, da sostituire alle singole travi (Phanratanamala 2014).
La presenza di controventi nelle pareti o l'introduzione di muri pieni può essere considerata utile per resistere agli sforzi di taglio nel piano (Janssen 2000): in presenza di vento elevato la struttura subisce infatti numerose sollecitazioni sul piano orizzontale.
La presenza di un sistema di fondazione sufficientemente rigido e ben ancorato al suolo è di primaria importanza per prevenire il ribaltamento e per contrastare le forze di depressione del vento; una struttura in bambù è infatti difficilmente capace di opporsi al carico del vento per il solo peso proprio a causa della sua leggerezza (Kaminski 2015).
Le soluzioni tecniche citate vengono utilizzate in modalità semplificata anche per Shelter *temporary o transitional*, ad esempio attraverso la distribuzione di kit di miglioramento dello shelter (*upgrade shelter kits*) o volti a incrementare il fissaggio a terra dello stesso prima dell'arrivo della stagione dei monsoni e degli uragani (*tie down kits*). Alla loro fornitura si accompagna l'offerta di assistenza tecnica o di brevi manuali esplicativi o poster.

Inondazioni

Le problematiche associate al fenomeno vengono ridotte tramite alcune accortezze progettuali: oltre alla previsione di collocare lo shelter fuori dalle aree ad alto rischio si consiglia la creazione di canali di drenaggio intorno allo shelter, per favorire l'allontanamento dell'acqua a seguito di un'inondazione.
L'abitazione deve essere sollevata da terra e il sistema di fondazione deve essere impermeabile all'acqua, in modo da assolvere alla sua funzione strutturale anche al presentarsi di un evento catastrofico. Ciò si declina in differenti soluzioni, che rientrano in due categorie tipologiche: da una parte le fondazioni puntiformi che prevedono il piano di calpestio ad un'altezza molto più elevata del piano di campagna, come le fondazioni su pali o sopraelevate, dall'altro lato la realizzazione di muri di contenimento dell'acqua posti al di sopra di una fondazione continua. La fondazione deve raggiungere un'altezza sufficiente per mantenere le altre componenti lontane dall'acqua e preservarne l'integrità. L'imputridimento delle porzioni poste in prossimità del terreno risulta comunque da tenere sotto controllo, attraverso trattamenti di impermeabilizzazione e manutenzione. L'impatto su differenti parti della struttura dipende dalla profondità e dalla durata dell'inondazione nonché alla tipologia di edificio (IOM 2014). Nell'ottica di porre in sicurezza i beni materiali del nucleo si consiglia inoltre di predisporre la creazione di un mezzanino, in modo da poterli stoccare in uno spazio asciutto (IRFC 2013).

Figura 71. A) Hurricane steel straps (Opdyke 2017; B) Muro di blocchi in cls prefabbricati (Kaminski 2015).


SCENARIO DI RISCHIO
Protezione dagli eventi catastrofici
Flessibilità
Shelter accessi-bile da spazi pubblici e presenza di vie di fuga
Tempi brevi di realizza-zione
Sensibilizza-zione e prevenzione dei rischi
Semplicità di realizzazione
Soluzioni spaziali e tecniche costruttive adeguate al contesto
Materiali adeguati e reperibili localmente
Vivibilità
Spazio chiuso verso l'esterno e protetto da un tetto
Dignità
Buona risposta a eventi metereologici estremi
Dettagli costruttivi ben studiati
PIANO UMANITARIO
Accessibilità a WASH and cooking facilities
Shelter incrementabi-le e/o amplia-bile
Spazio adegua-to per attività domestiche fondamentali
Adeguata protezione dai raggi solari e presenza di spazi aperti coperti
Buone condizioni di luce, comfort termico, ventilazione naturale
h interna > 2,60 m*
area ≥ 3,50 mq/pers.*
CONTESTO CLIMATICO
ESIGENZE
Shelter
Esigenze sul piano umanitario
Esigenze dallo scenario di rischio
Esigenze dal contesto climatico
* Requisiti minimi indicati dallo Sphere Handbook

4.2 Concezione generale

Lo Shelter progettato nasce come proposta di abitazione Core House, da realizzare nella fase di recovery post disastro, in un contesto caratterizzato da frequenti inondazioni, vento sino a 250 km/h e un elevato rischio di tifoni. Dal punto di vista climatico il luogo è caldo umido, con frequenti precipitazioni durante la stagione delle piogge e una temperatura media piuttosto costante durante l'anno.

- **Vivibilità**: L'area interna è 27 mq, con un'altezza minima interna di 3 m, e un'altezza massima di 5,80 m. Essa ospita un nucleo di 4 persone ed è composta da una stanza principale al piano terra e un soppalco dedicato alla zona notte; sono presenti servizi igienici a secco e un sistema di raccolta dell'acqua piovana.
- **Durabilità:** Le diverse componenti hanno cicli di vita differenti; la struttura portante in bambù è trattata con preservanti al fine di mantenere le sue prestazioni più a lungo. Le componenti metalliche devono essere zincate per essere protette dall'umidità e dall'acqua.
- **Flessibilità**: Essa è favorita in primo luogo dalla presenza di una struttura portante puntiforme. La modularità e la struttura dei pannelli di tamponamento consentono inoltre di applicare variazioni nelle aperture, modificando la posizione di porte e finestre anche in base alle caratteristiche del luogo (orientamento cardinale, presenza di venti dominanti). La struttura è assemblata a secco, è quindi possibile una più facile sostituzione delle componenti danneggiate.
- **Incrementabilità**, vista come possibilità di miglioramento: il modulo può integrare la realizzazione di balconi apribili sui lati, al fine di concedere agli abitanti ulteriori spazio per le attività domestiche. Si può prevedere l'inserimento di ulteriori strati tecnologici in copertura e per le pareti verticali, interne o esterne; spesso il bambù viene associato ad altri materiali naturali, per la creazione di pannelli più resistenti. L'alloggio può prevedere l'inserimento di pannelli solari per la fornitura di energia elettrica *off-grid*.
- **Tempi di realizzazione**: è prevista la prefabbricazione di alcuni elementi, come i moduli di tamponamento, di pavimento e di copertura. La loro realizzazione può procedere parallelamente alla costruzione della struttura portante: si stima che la costruzione possa essere completata in 20 giorni. Si prevedono giunzioni semplici tra gli elementi, attuabili con connessioni metalliche generalmente presenti sul mercato. Si prevede che la popolazione colpita abbia uno shelter temporaneo ove ripararsi prima che venga portata a termine la realizzazione della Core House.
- **Possibilità di ampliamento**: la Core House rappresenta il nucleo centrale di una abitazione definitiva o transitional, può dunque essere associata ad altri moduli abitativi nell'ottica di garantire sempre il rispetto degli standard minimi di vivibilità all'evolvere delle esigenze del nucleo. Lo standard minimo di 3,50 mq/persona è infatti consigliato per la fase transizionale con l'auspicio che venga aumentato nel procedere verso una soluzione abitativa definitiva.
- **Adeguamento al contesto climatico**: la copertura è inclinata di 17° e vi è uno sporto di gronda sul fronte principale, adeguato a proteggere dalla pioggia e utile ad ombreggiare la facciata. Le aperture sono collocate su tutti i lati e a diverse altezze per favorire la ventilazione incrociata. Il comfort termico interno è favorito dalla presenza di un soffitto elevato e di una apertura in prossimità del punto più alto, che agevola i moti dell'aria. L'umidità di risalita è ridotta grazie all'elevazione del piano di calpestio rispetto al suolo, nonché da una buona ventilazione interna.
- **Protezione dagli eventi catastrofici**: il modulo abitativo è compatto e di forma semplice, sollevato da terra. La struttura portante è composta di travi e pilastri di bambù strutturale di diametro 10 cm, con la predisposizione di controventi di piano, sia verticali che orizzontali. Lo sporto di gronda non è in continuità con il resto della copertura, bensì è di materiale più leggero e risulta sacrificabile, al fine di ridurre la superficie di impatto del vento. Sono previste aperture su due pareti opposte, in prossimità della copertura, al fine di favorire l'ingresso delle correnti d'aria e ridurre la pressione del vento che, spingendo dall'interno, potrebbe causare la perdita del tetto.
  Si prevede il galleggiamento del modulo previa inserimento di un sistema di barili nella piattaforma di base; il movimento di risalita viene controllato attraverso 4 guide di scorrimento verticale, poste

agli angoli dell'abitazione. Nello Shelter è incluso un collettore di acqua, sfruttabile durante le emergenze.

- **Configurazione e materiali utilizzati**: La struttura si compone di una piattaforma di reticolari in bambù, dove viene alloggiato il sistema di galleggiamento, e di un modulo abitativo di 5m x 5m. La struttura portante è realizzata in bambù, su fondazioni in calcestruzzo. Gli elementi non strutturali sono anch'essi in bambù, connessi da giunti e cavi metallici. Le guide verticali sono dei profili cavi in acciaio. Si prevede l'utilizzo di bambù strutturale reperito localmente, dal momento che esistono numerose varietà della pianta in tutti i Paesi della fascia tropicale e temperata.
- **Adattabilità a diversi contesti**: La forma semplice e la separazione tra zona giorno e zona notte sono adeguati a differenti contesti culturali.
  I tamponamenti stessi possono essere differenti nella trama e conformazione, se dovessero presentarsi difficoltà nel reperimento dei culmi interi. Esistono infatti numerose tecniche di impiego del bambù, anche attraverso la suddivisione o lavorazione del culmo con semplici strumenti (lamelle di bambù, semiculmi, *caña chancada o picada*).
- **Modalità di coinvolgimento della popolazione**: il processo di costruzione dell'abitazione si basa sul coinvolgimento diretto della popolazione colpita, potrebbero essere messi in atto *community-driven o owner-driven approach* con il supporto tecnico e logistico delle organizzazioni internazionali.
- **Costruibilità:** L'utilizzo del bambù richiede una conoscenza adeguata del materiale e delle tecniche costruttive ad esso legate, che spesso fanno parte del *know-how* collettivo dei paesi dove la pianta è maggiormente diffusa. In caso differente esse possono essere trasmesse alla popolazione attraverso momenti di formazione da parte di figure specializzate. La realizzazione presuppone l'utilizzo di strumenti di facile reperibilità e la presenza di 4 persone, di cui almeno una in possesso delle competenze specifiche.

4.3 Componenti

Struttura portante

La struttura portante dello Shelter è un sistema puntiforme composto di travi, pilastri e travi reticolari. Nella considerazione delle potenzialità e problematiche del materiale precedentemente descritte il bambù viene utilizzato nella sua forma naturale, ovvero in culmi. Essi vengono connessi tra loro a formare i differenti elementi strutturali in modo da prevenire il collasso dell'intera struttura nel caso in cui uno dei culmi dovesse fessurarsi. I nodi costruttivi si basano su un sistema ad incastro, dove gli elementi si sovrappongono e si innestano in modo simile ad una struttura portante lignea, sebbene con una logica strettamente legata al bambù e alle sue peculiari caratteristiche. Gli elementi sono poi resi collaboranti grazie alla presenza dei giunti metallici.
Ci si avvale di bambù strutturale di diametro 10 cm e spessore di 1,5 cm.

Giunti e connessioni

Per connettere i diversi elementi ci si avvale di tre tipologie di connessioni metalliche:

- Connessione tramite fascette e collari metallici, principalmente utilizzata per collegare elementi paralleli ed in contatto, ad esempio i pilastri e i correnti delle travi reticolari.
  Una tipologia differente viene utilizzata per fissare i cavi metallici di controventatura, associata a tensori.
- Connessione tramite foratura dei culmi e inserimento di una barra filettata, con dadi e rondelle romboidali.
- Connessione tramite foratura e inserimento di un sistema a tensore, formato da un gancio metallico associato ad una barra di ancoraggio.

Gli elementi non strutturali sono giuntati tramite viti o barre filettate.

Chiusure verticali

Le pareti di tamponamento esterne sono formate da pannelli modulari in bambù. Essi sono composti da una cornice in bambù all'interno del quale vengono fissati i culmi verticali grazie ad un elemento passante, che li attraversa e li fissa alla cornice. La cornice sostiene il telaio delle finestre, nei moduli che le prevedono. Questa soluzione vede l'impiego di culmi da 10 cm per resistere alle elevate sollecitazioni del vento nel contesto di progetto. Tuttavia si prospetta possibile l'utilizzo di culmi di minor diametro per ridurre il peso specifico del pannello e la sua portabilità, nonché facilità di assemblaggio.

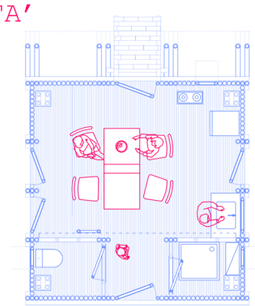
Le pareti divisorie interne sono realizzate con un sistema più leggero, dal momento che non devono resistere a sforzi così elevati. Esse sono composte da un frame in bambù di diametro 7 cm sul quale vengono fissate le lamelle, da entrambi i lati. Anche per questa soluzione sono possibili numerose variazioni formali, che si prospetta possano essere scelte dai futuri abitanti. Le strisce di bambù sono di dimensioni tali da permettere un eventuale successivo strato di intonaco a base terra o calce, nella logica di incrementabilità dello Shelter verso una soluzione abitativa più duratura.

Chiusure orizzontali

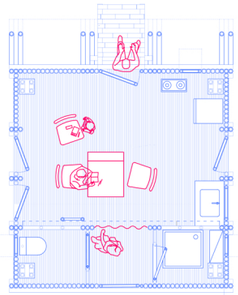
La chiusura inferiore è rappresentata dal piano di calpestio che divide lo spazio abitativo dal sistema di galleggiamento. Esso si appoggia dunque sulla piattaforma di travi reticolari, per mezzo di un'orditura fitta di travetti di bambù con diametro 7 cm. Lo strato di rivestimento è composto da lamelle di bambù, fissate per mezzo di viti.
La chiusura superiore è realizzata in pannelli multistrato di fibre di bambù (BMCS, *bamboo mat corrugated sheet*), caratterizzati da leggerezza, facilità di impiego e resistenza meccanica (Uday 2015), al di sotto del quale si alloggia uno strato impermeabilizzante e un materassino in bambù.
La copertura aggettante è realizzata invece con un cannicciato leggero, sorretto da travetti in bambù di ridotte dimensioni.

BAMBOO CORE UNIT

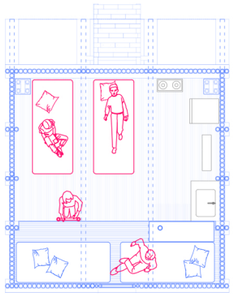
FLESSIBILITA'
- Usi



pranzo - h 13.00
pasto collettivo

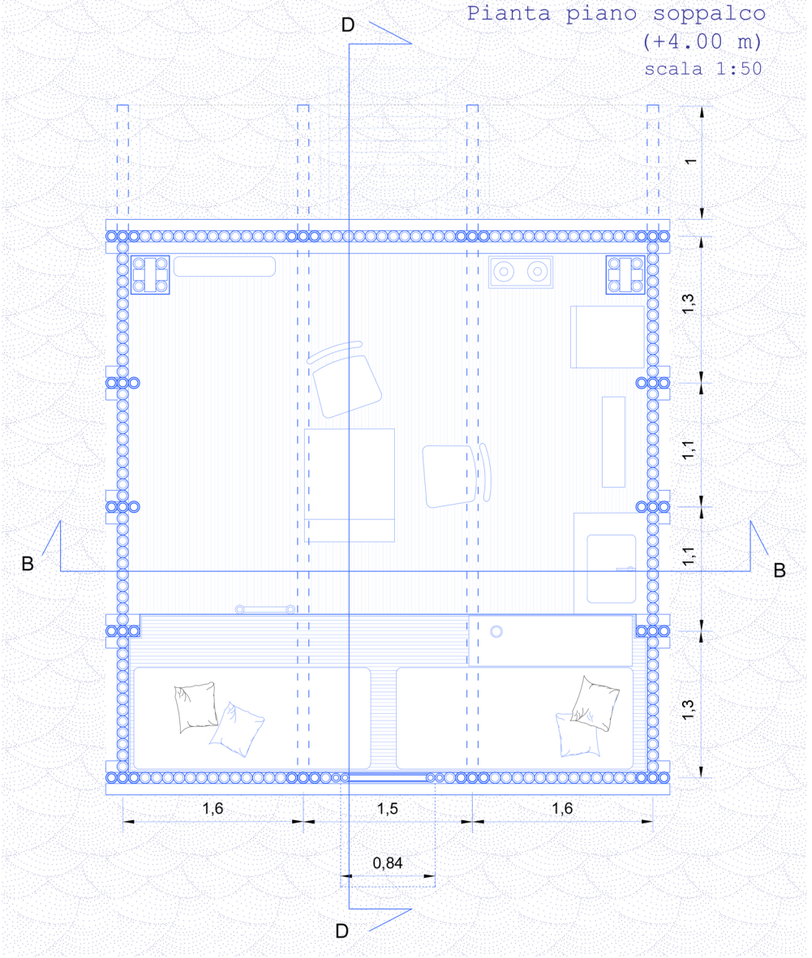


pomeriggio - h 16.00
compiti e gioco
igiene personale

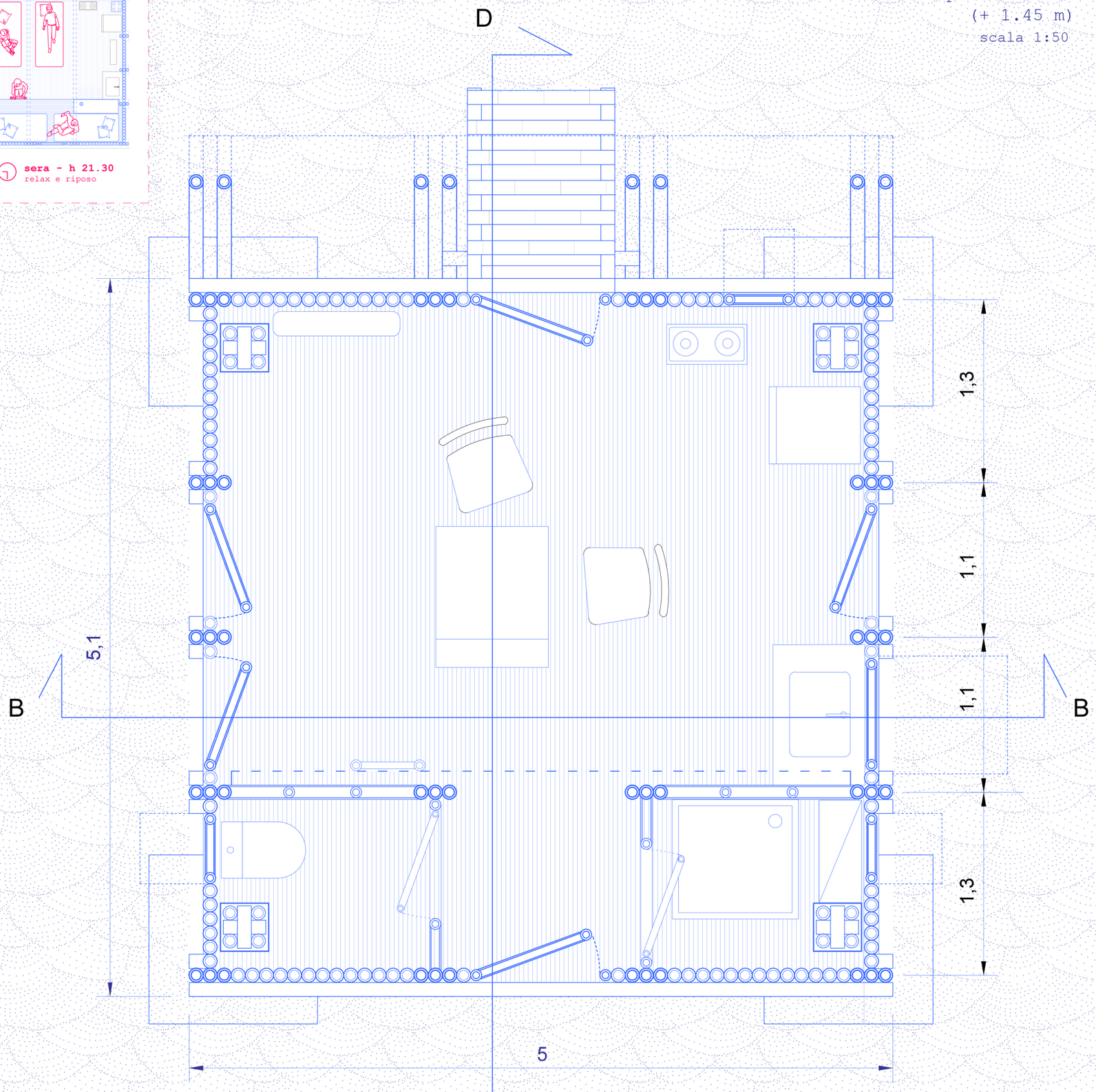


sera - h 21.30
relax e riposo

Pianta piano soppalco
(+4.00 m)
scala 1:50



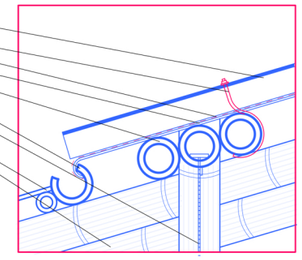
Pianta piano terra
(+ 1.45 m)
scala 1:50

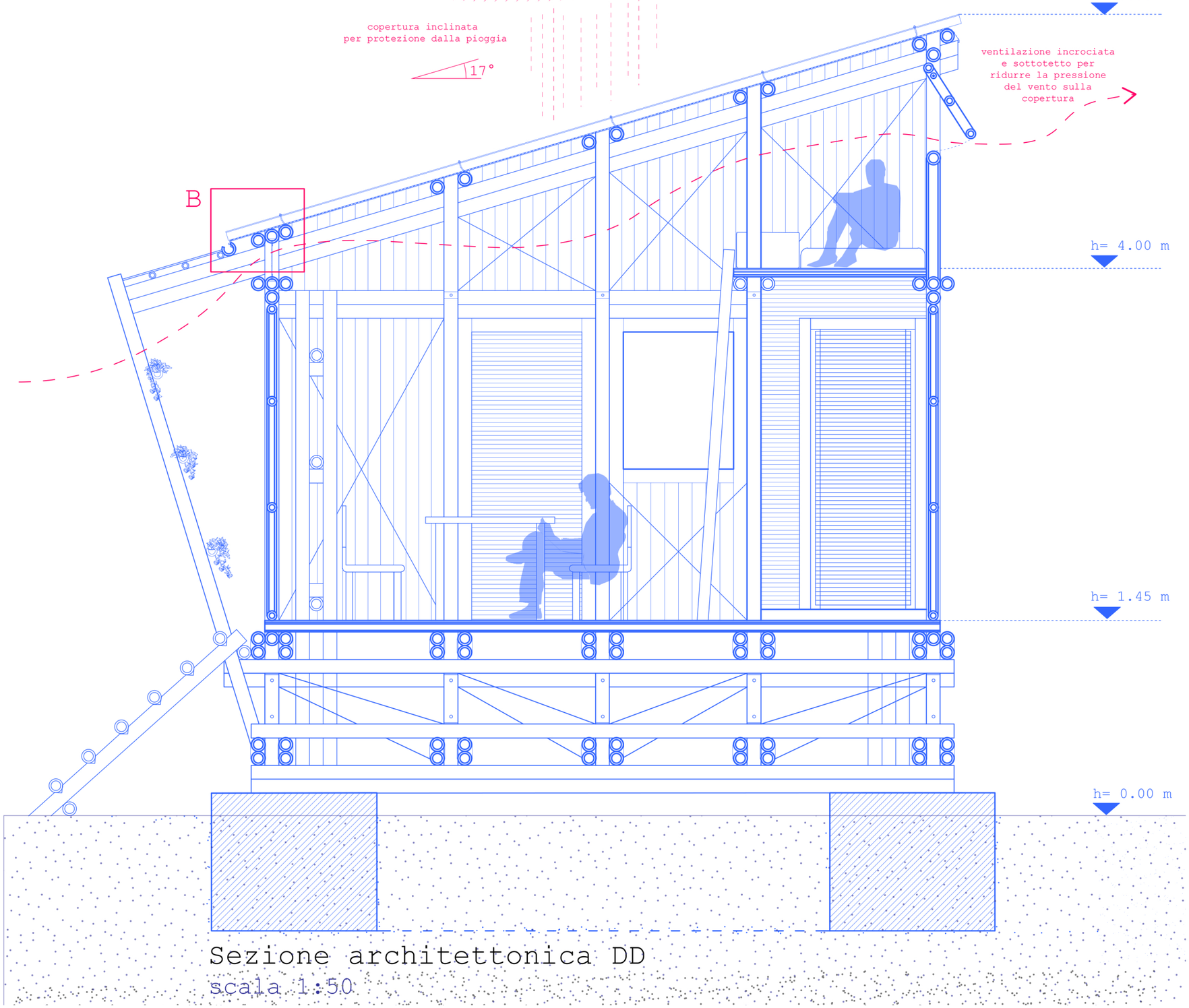


STRATIGRAFIE scala 1:20

1. Pannello BMCS - spessore 7 cm
2. Giunto di fissaggio dei pannelli - diametro 0,7 cm
3. membrana impermeabile
4. stuoia rigida di bambù - spessore 1,5 cm
5. trave secondarie di copertura - culmi di diametro 10 cm
6. grondaia
7. apertura per ventilazione - strisce di bambù intrecciato
8. cannicciato leggero per ombreggiamento esterno
9. trave principale di copertura - culmi di diametro 10 cm

B Copertura

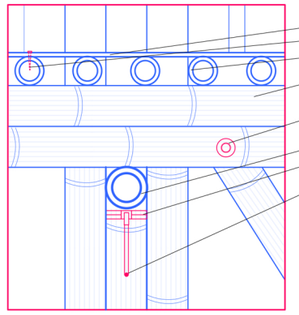




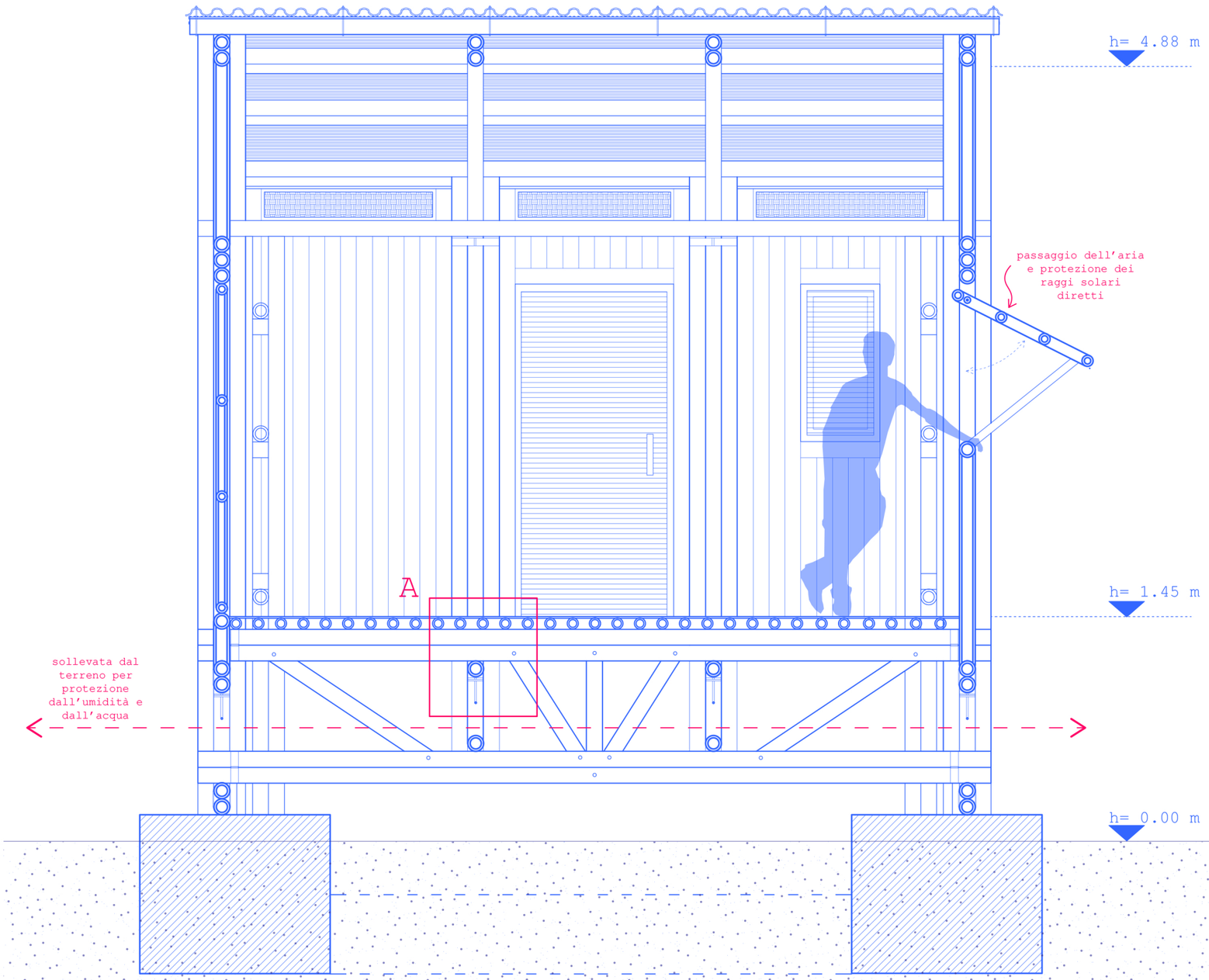
Sezione architettonica DD

scala 1:50

A Piano di calpestio



1. Listelli di bambù - spessore 1 cm
2. Viti di fissaggio dei listelli di rivestimento
3. travetti piano di calpestio - diametro 7 cm
4. correnti superiori trave ret. secondaria - culmi diametro 10 cm
5. giunti di connessione trave reticolare - barra filettata di diametro 20 mm
6. corrente superiore trave reticolare terziaria
7. collare di acciaio per fissaggio cavi di controvento
8. cavo d'acciaio per controvento trave reticolare - diametro 10 mm

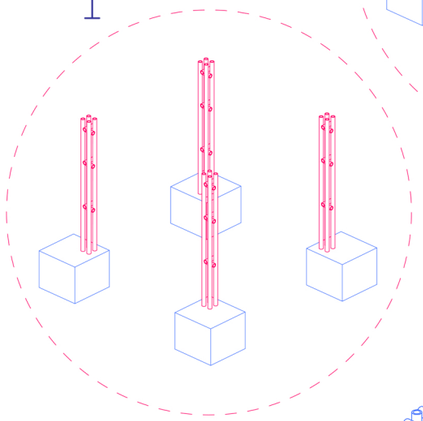


Sezione architettonica BB
scala 1:50

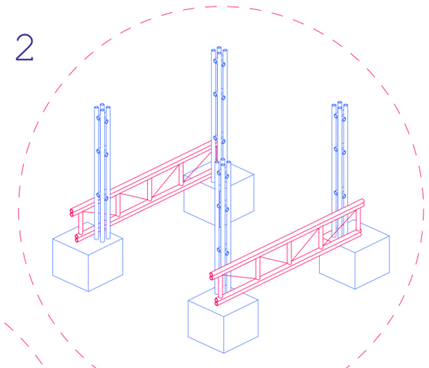
Prospetto frontale

Processo costruttivo - Struttura portante

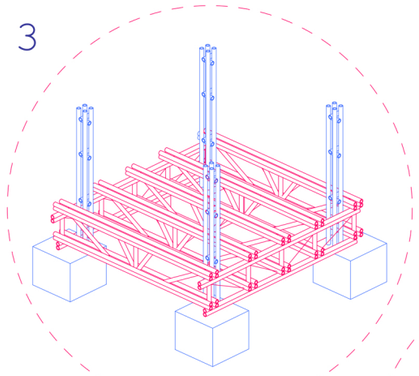
1



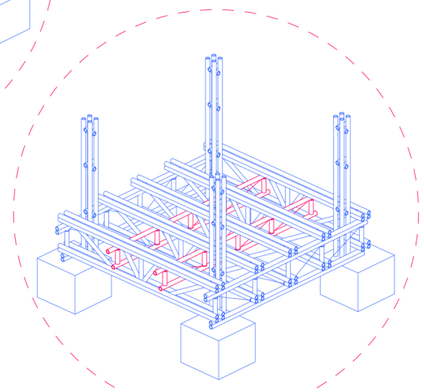
2



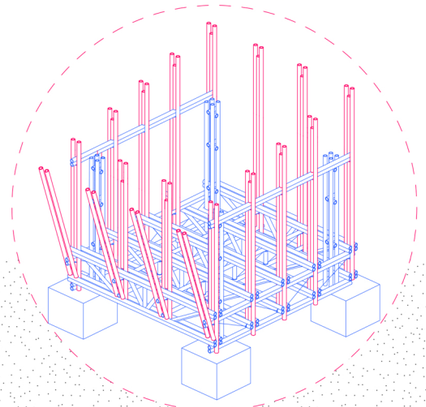
3



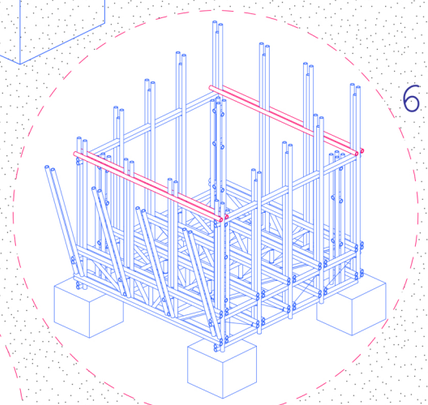
4



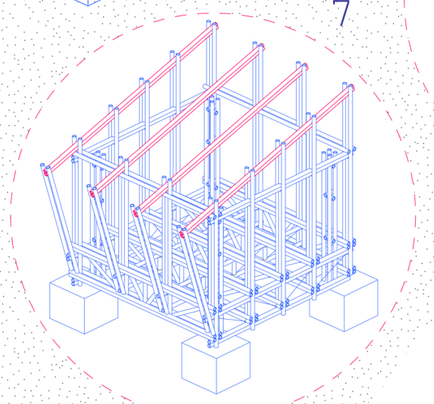
5



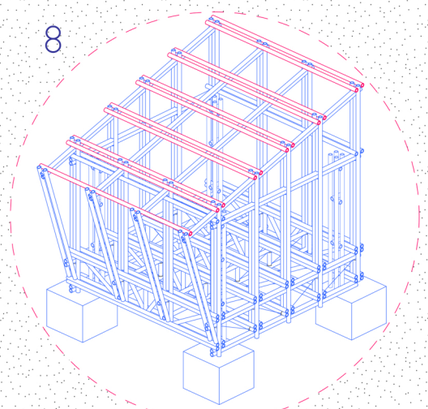
6

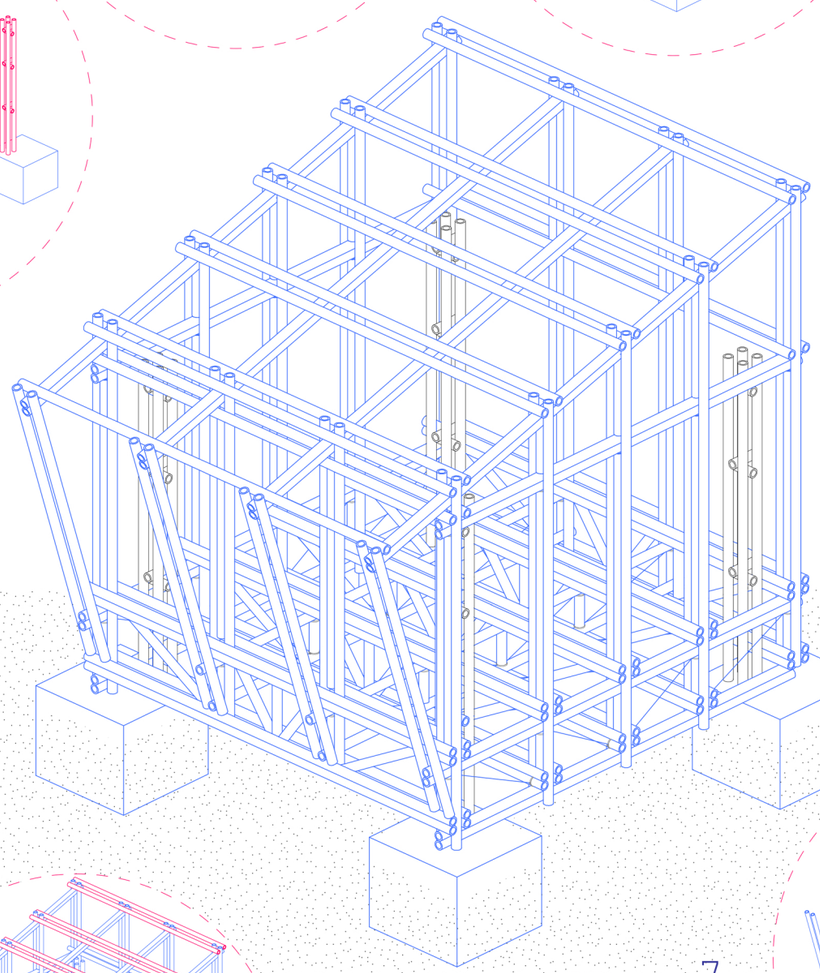


7



8



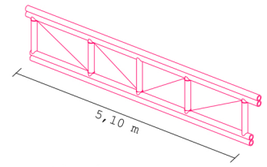


Fasi

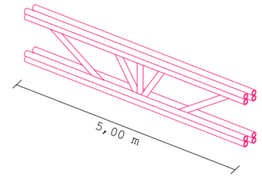
1. Scavo e fondazione
2. Posizionamento delle travi reticolari principali
3. Posizionamento e fissaggio delle travi reticolari secondarie
4. Posizionamento e fissaggio delle travi reticolari terziarie
5. Posizionamento dei pilastri e della correa lungo asse y
6. Fissaggio delle travi di correa lungo asse x
7. Inserimento delle travi principali di copertura
8. Fissaggio delle travi secondarie di copertura

Componenti basamento

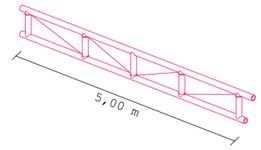
trave reticolare principale



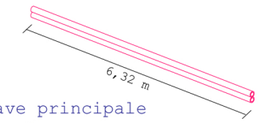
trave reticolare secondaria



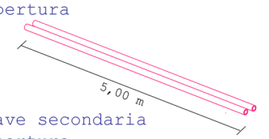
trave terzera



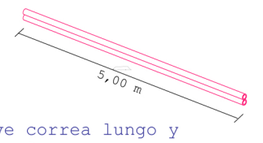
Travi e pilastri



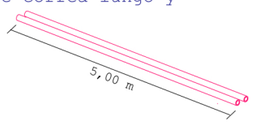
trave principale copertura



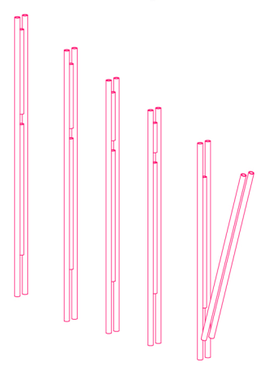
trave secondaria copertura



trave correa lungo y



trave correa lungo x



pilastri e aste inclinate

5. PREDIMENSIONAMENTO STRUTTURALE

Il capitolo corrente è dedicato al predimensionamento e alla verifica della struttura proposta nel progetto, con attenzione allo scenario di rischio in cui essa si inserisce. La struttura è infatti sottoposta ad azioni permanenti, ovvero dovute a carichi propri, ad azioni variabili e ad azioni eccezionali, nel caso di cicloni o inondazioni.
Le esigenze dettate dallo scenario di rischio non sono tutte oggetto della verifica, ma ci si sofferma sulla verifica dei carichi permanenti, dei carichi variabili e dei carichi da vento, che rappresentano un fattore di rischio molto elevato nel contesto preso in esame.
Il procedimento di calcolo e verifica viene condotto avvalendosi della Normativa Filippina per le Costruzioni e dell'International Standard ISO 22156 Bamboo – Structural Design.

5.1 Azioni sulle costruzioni e metodi di verifica

Il predimensionamento dei componenti strutturali viene effettuato a seguito del calcolo dei carichi verticali agenti sulla struttura. Vengono inoltre considerati i carichi dovuti al vento in copertura.
Gli elementi di controvento verticali e di piano non vengono predimensionati ma si prevede la loro collocazione sul piano della copertura, lungo le pareti perimetrali e al di sotto del piano di calpestio, come consigliato nella Normativa ISO 2215610.
La struttura appartiene alla categoria d'uso residenziale, poiché prevede l'alloggio di un nucleo familiare di 4 persone.

5.1.1 Azioni sulle costruzioni

Le azioni che agiscono sulla struttura vengono analizzate secondo la classificazione adottata dalla Normativa del Paese in cui il progetto è ipoteticamente collocato, ovvero dal National Structural Code of The Philippines[11]. Esso indica una metodologia di calcolo peraltro in linea con l'approccio delle Norme Tecniche per le Costruzioni[12] attualmente vigente in Italia. I carichi vengono dunque suddivisi in carichi permanenti e carichi variabili.

I **carichi permanenti** sono azioni che agiscono durante tutta la vita nominale di progetto, la cui variazione di intensità nel tempo è molto lenta e di piccola entità. Con il termine *vita nominale di progetto* di un'opera si definisce per convenzione il periodo entro il quale il manufatto è in grado di mantenere specifici livelli prestazionali, previa adeguata manutenzione.
Essi includono il peso proprio di tutti gli elementi strutturali e il peso proprio di tutti gli elementi non strutturali.
Al fine di inserire valori correnti e comunemente accettati per il calcolo dei **pesi propri** degli elementi si prende in esame il Codice Filippino, che presenta una tabella contenente i *Minimum Design Loads*, ovvero i valori standard dei più comuni materiali da costruzione. Poiché il bambù non figura tra i materiali catalogati si procede con l'impiego delle caratteristiche specifiche ricavate dalla bibliografia di riferimento.
All'interno del progetto tutti gli elementi strutturali e non strutturali sono realizzati in bambù, ad eccezione dei giunti di connessione tra gli elementi stessi.
La descrizione approfondita del procedimento di calcolo dei pesi propri dei singoli elementi verrà illustrata nel capitolo successivo.

[10] "Solid walls, or bracing in walls, shall be considered for resisting in-plane shear", par. 11.4 Good design practices, ISO 22156.
[11] National Structural Code of The Philippines 2010 (NSCP), Sixth Edition, Association of Structural Engineers of the Philippines, 2010.
[12] NTC, pubblicate nel 2018, aggiornano le precedenti Norme Tecniche del 2008.

I **carichi variabili** sono definiti invece sia da azioni con occorrenze discrete più o meno puntuali nel tempo, come i carichi derivanti dalla permanenza di persone, sia da azioni variabili a carattere variabile nel tempo e non monotone, come l'azione del vento o della neve.
Il calcolo dei carichi variabili si basa sui valori dettati dal Codice Filippino nel Capitolo 2, rappresentati nelle tabelle seguenti (figura 1 e 2).
Il carico variabile da applicare sulla superficie di pavimento risulta essere un carico uniformemente distribuito pari a 1,9 kN/m^2, poiché l'abitazione è ad uso residenziale e si compone di un solo spazio interno abitabile.
Il carico variabile da applicare in copertura è invece pari a 0,75 kN/m^2, poiché il tetto ha una inclinazione minore del 30% e insiste su una superficie di 25 m^2.
Dai carichi gravanti sulla copertura è stato escluso il carico della neve, poiché non tipico dello scenario climatico considerato. Sulla superficie del tetto viene inoltre applicato il carico dovuto all'azione del vento.

Use or Occupancy		**Uniform Load** [1]	**Concentrated Load**
Category	Description	kPa	kN
13. Office	Call Centers & BPO	2.9	9.0
	Lobbies & ground floor corridors	4.8	9.0
	Offices	2.4	9.0 [2]
	Building corridors above ground floor	3.8	9.0
14. Printing plants	Press rooms	7.2	11.0 [2]
	Composing and linotype rooms	4.8	9.0 [2]
15. Residential [8]	Basic floor area	1.9	0 [6]
	Exterior balconies	2.9 [4]	0
	Decks	1.9 [4]	0
	Storage	1.9	0
16. Restrooms [9]	--	--	--
17. Reviewing stands, grandstands, Bleachers, and folding and telescoping seating	--	4.8	0
18. Roof decks	Same as area served or Occupancy	--	--
19. Schools	Classrooms	1.9	4.5 [2]
	Corridors above ground floor	3.8	4.5
	Ground floor corridors	4.8	4.5
20. Sidewalks and driveways	Public access	12.0	-- [7]
21. Storage	Light	6.0	--
	Heavy	12.0	--
22. Stores	Retail	4.8	4.5 [2]
	Wholesale	6.0	13.4 [2]
23. Pedestrian bridges and walkways	--	4.8	--

Tabella 14. Tabella dei valori delle azioni variabili sul piano di pavimento a seconda dell'uso (NSCP 2010).

ROOF SLOPE	METHOD 1			METHOD 2		
	Tributary Area (m^2)			Uniform Load [2] (kPa)	Rate of Reduction, *r*	Maximum Reduction *R* (percentage)
	0 to 20	20 to 60	Over 60			
	Uniform Load (kPa)					
1. Flat [3] or rise less than 4 units vertical in 12 units horizontal (33.3% slope). Arch and dome with rise less than one-eighth of span.	1.00	0.75	0.60	1.00	0.08	40
2. Rise 4 units vertical to less than 12 units vertical in 12 units horizontal (33.3% to less than 100% slope). Arch and dome with rise one-eighth of span to less than three-eighths of span.	0.75	0.70	0.60	0.75	0.06	25
3. Rise 12 units vertical in 12 units horizontal (100% slope) and greater. Arch or dome with rise three-eighths of span or greater.	0.60	0.60	0.60	0.60	*No reduction permitted*	
4. Awnings except cloth covered. [4]	0.25	0.25	0.25	0.25		
5. Greenhouses, lath houses and agricultural buildings. [5]	0.50	0.50	0.50	0.50		

Tabella 15. Azioni variabili sulla copertura, escluso il carico del vento (NSCP 2010).

Il **vento** è una forza di tipo variabile e complementare, che riveste notevole importanza per le strutture caratterizzate da elevata leggerezza e deformabilità. L'azione del vento, che viene generalmente considerata come agente in orizzontale, varia nel tempo e nello spazio e può portare a fenomeni dinamici.
Per costruzioni ordinarie, tali fenomeni sono ricondotti per convenzione ad azioni statiche equivalenti[13].
Le azioni statiche del vento sono costituite da pressioni e depressioni agenti normalmente su tutte le superfici, sia esterne che interne, degli elementi che compongono la costruzione: in questo calcolo si terrà conto delle sole azioni agenti in verticale, quindi limitando l'analisi al carico del vento agente in copertura.
L'azione del vento viene determinata considerando la combinazione più gravosa delle pressioni agenti.
Si procede dunque con il calcolo della pressione cinetica q:

$$q = 47{,}3 \cdot 10^{-6} \cdot K_z \cdot K_{zt} \cdot K_d \cdot V^2 \cdot I_w \qquad (1)$$

dove:

- V, velocità base di riferimento, è calcolata in funzione della zona considerata luogo di realizzazione del progetto, la regione di Sorsogon. Essa è dunque pari a 250 km/h, corrispondente alla Zona 1 della tabella 3A;
- K_d coefficiente di direzionalità, è assunto uguale a 0,85;
- I_w fattore di importanza è pari a 1,15 per l'elevata condizione di rischio;
- K_z coefficiente di esposizione in funzione della rugosità, della classe di esposizione e l'altezza sul livello del mare. Esso conduce a due differenti valori, corrispondenti al sottovento e sopravento.
- K_{zt} fattore topografico, di entità pari a 1.

Ottenuti i valori di pressione cinetica *q* è possibile calcolare la pressione del vento *p* attraverso la seguente espressione:

$$p = q \cdot [(G \cdot Cp) - (G \cdot Cpi)] \qquad (2)$$

[13] NTC, op. cit.

dove:

- G corrisponde al fattore di raffica
- C_p corrisponde al coefficiente di pressione esterna
- C_{pi} corrisponde al coefficiente di pressione interna

Allo svolgersi dei calcoli viene quindi definito un valore di pressione del vento in copertura pari a -3,2 kN/m^2. Il segno indica la direzione della pressione: in questo caso, poiché negativo, si ha una condizione di depressione.

Zone Classification (Basic Wind Speed)	Provinces
Zone 1 (V = 250 kph)	Albay, Aurora, Batanes, Cagayan, Camarines Norte, Camarines Sur, Catanduanes, Eastern Samar, Isabela, Northern Samar, Quezon, Quirino, Samar, Sorsogon
Zone 2 (V = 200 kph)	Abra, Agusan del Norte, Agusan del Sur, Aklan, Antique, Apayao, Bataan, Batangas, Benguet, Biliran, Bohol, Bulacan, Camiguin, Capiz, Cavite , Cebu , Compostela Valley , Davao Oriental, Guimaras, Ifugao, Ilocos Norte, Ilocos Sur, Iloilo, Kalinga, La Union, Laguna, Leyte, Marinduque, Masbate , Misamis Oriental, Mountain Province, National Capital Region, Negros Occidental, Negros Oriental, Nueva Ecija, Nueva Vizcaya, Occidental Mindoro, Oriental Mindoro, Pampanga, Pangasinan, Rizal, Romblon, Siquijor, Southern Leyte, Surigao del Norte, Surigao del Sur, Tarlac, Zambales
Zone 3 (V = 150 kph)	Basilan, Bukidnon, Davao del Norte, Davao del Sur, Lanao del Norte, Lanao del Sur, Maguindanao, Misamis Occidental, North Cotabato , Palawan , Sarangani, South Cotabato , Sultan Kudarat, Sulu, Tawi-tawi, Zamboanga del Norte, Zamboanga del Sur, Zamboanga Sibugay

Occupancy Category	Description	I_w
I	Essential	1.15
II	Hazardous	1.15
III	Special Occupancy	1.15
IV	Standard Occupancy	1.00
V	Miscellaneous	0.87

OCCUPANCY CATEGORY	OCCUPANCY OR FUNCTION OF STRUCTURE
I Essential Facilities	Occupancies having surgery and emergency treatment areas, Fire and police stations, Garages and shelters for emergency vehicles and emergency aircraft, Structures and shelters in emergency preparedness centers, Aviation control towers, Structures and equipment in communication centers and other facilities required for emergency response, Facilities for standby power-generating equipment for Category I structures, Tanks or other structures containing housing or supporting water or other fire-suppression material or equipment required for the protection of Category I, II or III structures, Public school buildings, Hospitals and Designated evacuation centers.

Tabella 16. A). Zone di classificazione del vento per differenti province delle Filippine (NSCP 2010); B) Il fattore di importanza in riferimento alla categoria di occupazione; C) Categoria di occupazione a cui appartiene il progetto; D) Schemi dell'azione del vento per struttura con tetto ad una falda inclinata (NSCP 2010).

5.1.2 Metodi di verifica

La progettazione di ogni componente strutturale presuppone necessariamente una fase di verifica, con la quale si attua il controllo degli stati di sollecitazione del sistema, allo scopo di appurare che in nessun punto della struttura vengano raggiunti valori prossimi ai valori limite dei materiali che lo costituiscono.

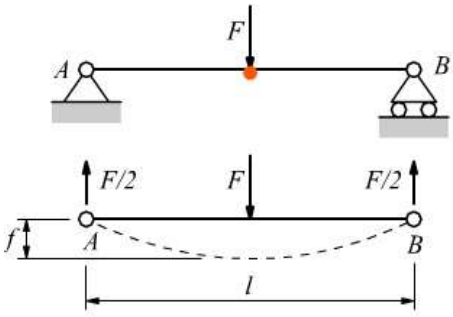


Figura 72. Schema statico di trave su due appoggi, in rosso il punto di maggior sollecitazione a flessione.

Per verificare la struttura progettata si è dovuto ricorrere all'**utilizzo incrociato di due Normative**, poiché il National Structural Code of The Philippines, brevemente detto NSCP, viene utilizzato per determinare i carichi variabili agenti sulla struttura ma non include alcuna indicazione circa la progettazione e verifica di strutture in bambù. Per questo motivo si è presa in esame anche la Normativa Internazionale per l'utilizzo del bambù strutturale, International Standard ISO 22156: Bamboo – Structural Design, redatta nel 2004, aggiornata nel 2012 e attualmente vigente.
Essa sancisce che qualsiasi progetto di struttura in bambù deve essere sottoposto a verifica degli Stati Limite in accordo con la Normativa nazionale del Paese di riferimento, così come il calcolo di carichi e azioni.
In sostituzione al metodo degli Stati Limite la ISO 22156 suggerisce l'adozione del metodo ASD, dall'inglese *Allowable Stress Design*, ovvero il metodo delle Tensioni Ammissibili.
Considerato che l'NSCP dichiara che il progetto di strutture che non siano realizzate in acciaio o calcestruzzo armato può essere verificato tramite l'utilizzo del metodo ASD si è scelto dunque di applicare questa metodologia, poichè ritenuta consona da entrambe le Normative[14].

Il metodo ADS monitora la sicurezza della struttura per le condizioni di esercizio, supponendo il comportamento elastico dei materiali. Le tensioni di calcolo prodotte dalle azioni esterne di esercizio vengono confrontate con quelle ammissibili per i materiali, dedotte dai valori di rottura e corretti da un coefficiente di sicurezza.
Il valore delle tensioni ammissibili viene computato a partire dalla seguente espressione:

$$\sigma_{amm} = R_k \cdot G \cdot \frac{D}{S} \qquad (3)$$

dove:

- σ_{amm} è il valore di tensione ammissibile;
- R_k è il valore caratteristico;
- G è il fattore di correzione, pari a 0,5;
- D è il fattore di correzione in base alla durata del carico. Esso è pari a 1,0 per carichi permanenti, è uguale a 1,25 per compresenza di carichi variabili e permanenti, è pari a 1,5 per l'ulteriore aggiunta dell'azione del vento;
- S è il coefficiente di sicurezza, pari a 2,25.

Conseguentemente è possibile determinare i valori delle **tensioni ammissibili** a partire dalle tensioni caratteristiche del materiale. I valori presentati nella prima riga della tabella 17 sono valori caratteristici riportati all'interno del testo *Il bambù come materiale da costruzione* (Mauricio Cardenas Laverde 2008).

[14] Par. 7.4, International Standard ISO 22156.

FLESSIONE			TAGLIO			COMPRESSIONE		
Rk,fless.=	74,000	Mpa	Rk,taglio=	4,300	Mpa	Rk, comp.=	56,000	Mpa
$\sigma_{amm1=}$	16,444	Mpa	$\tau_{amm1=}$	0,956	Mpa	$\sigma_{amm1=}$	12,444	Mpa
$\sigma_{amm2=}$	20,556	Mpa	$\tau_{amm2=}$	1,194	Mpa	$\sigma_{amm2=}$	15,556	Mpa
$\sigma_{amm3=}$	24,667	Mpa	$\tau_{amm3=}$	1,433	Mpa	$\sigma_{amm3=}$	18,667	Mpa

Tabella 17. Valori di tensione ammissibili, tratto da Mauricio Cardenas Laverde 2008.

Con riferimento alla trave, **tensione normale σ** si definisce la componente della tensione lungo la direzione normale N, ovvero perpendicolare al piano della sezione e parallela all'asse dell'elemento; essa tende ad opporsi agli allungamenti e accorciamenti provocati rispettivamente da forze di trazione o compressione.
Con il termine **tensione tangenziale τ** si indica la componente della tensione che giace sul piano della sezione, la quale tende ad opporsi agli scorrimenti di sezioni contigue. La sollecitazione di taglio si verifica quando sull'elemento sono applicate forze perpendicolari al suo asse, giacenti sul piano della sezione e passanti per il suo baricentro; essa è normalmente accompagnata dalla flessione.

La sollecitazione di flessione genera in ogni sezione tensioni normali σ, a seguito delle deformazioni di allungamento e di accorciamento, e tensioni tangenziali τ.
Le tensioni normali sono massime negli strati dell'elemento più lontani dall'asse neutro perché sono massime le deformazioni; esse sono nulle in corrispondenza dell'asse neutro, poiché le sue fibre non subiscono alcuna deformazione.

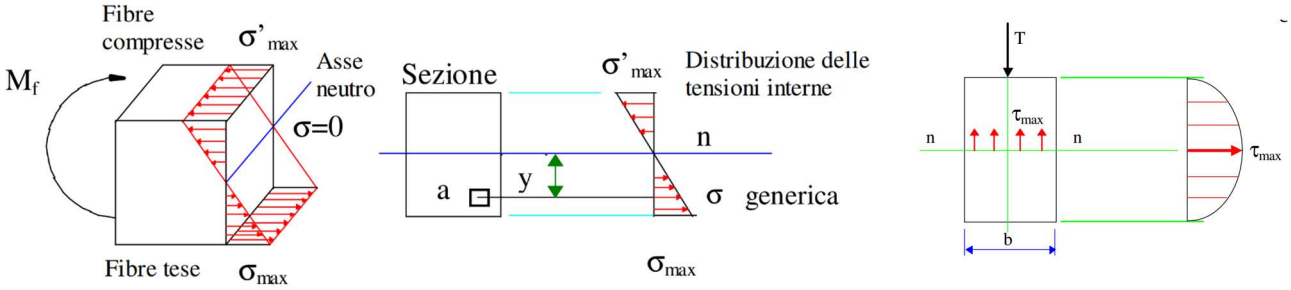


Figura 73. a) Sollecitazione di flessione in un concio di trave. In rosso la distribuzione delle tensioni σ; b) l'andamento delle tensioni τ in una sezione sottoposta a taglio.

Allo scopo di calcolare le **tensioni di progetto**, ovvero le tensioni riferite alla struttura ipotizzata, si applicano differenti formule a seconda del numero di culmi che compongono la sezione dell'elemento strutturale.
Per **travi composte da un singolo culmo** si applicano le seguenti formule, rispettivamente per sforzi normali (formula di Navier, equazione 4) e per sforzi tangenziali (formula di Jourawsky, equazione 6):

$$\sigma = \frac{M}{I} \cdot y \qquad (4)$$

Dove M indica il momento flettente, y la distanza dall'asse neutro, I esprime il momento di inerzia della sezione, R_e ed R_i, raggio esterno e interno:

$$I = \frac{\pi}{4} \cdot (R_e{}^4 - R_i{}^4) \qquad (5)$$

$$\tau = \frac{T \cdot S}{I \cdot b} \qquad (6)$$

Dove T indica il taglio, S esprime il momento statico dell'area della trave, I il momento d'inerzia, b corda.

Per **travi composte da due culmi** vengono utilizzate due formule semplificate, sotto l'ipotesi semplificativa di comportamento disaccoppiato tra i due culmi, ovvero:

$$\sigma = \frac{M/2}{I} \cdot y \tag{7}$$

$$\tau = \frac{2 \cdot T}{A\ 2} \tag{8}$$

Dove ad I corrisponde il momento di inerzia di un singolo culmo, dal momento che non si può prevedere che i due culmi siano connessi da un giunto perfettamente rigido: a vantaggio di sicurezza i due culmi si considerano dunque come disgiunti.

Per **pilastri composti da 2 o 3 culmi** ci si avvale della formula generale per le tensioni normali:

$$\sigma = \frac{N}{A_{tot}} \tag{9}$$

Dove N è pari allo sforzo normale e A_{tot} è dato dall'area totale della sezione del pilastro.

Noti i valori di tensioni effettive sulle sezioni ci si accerta che essi risultino entro i limiti ammissibili, ponendo:

$$\sigma \leq \sigma_{amm}$$

$$\tau \leq \tau_{amm}$$

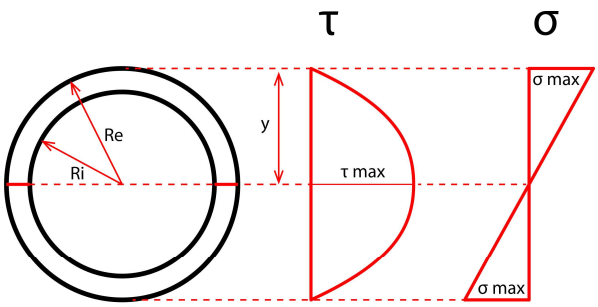


Figura 74. Andamento delle tensioni normali e tangenziali nelle travi con culmo singolo e doppio; sezione tipo del pilastro. Il τ ha andamento parabolico ed è massimo in corrispondenza dell'asse neutro, mentre σ è maggiore sui lembi superiori ed inferiori del culmo.

5.1.3 Combinazione dei carichi

Ai fini delle verifiche delle tensioni ammissibili si definiscono le combinazioni delle azioni, nel rispetto delle indicazioni fornite dal National Structural Code delle Filippine.
Con l'applicazione del metodo delle tensioni ammissibili la struttura e tutte le sue parti devono resistere agli effetti più critici risultanti dalle combinazioni di carico.
Delle due categorie di combinazioni indicate nel Codice si fa uso di quella denominata *Alternate Basic Loads Combinations*.
Si applicano dunque le combinazioni che seguono, dedotte dal Codice Filippino[15], per le quali è possibile considerare un incremento dei valori delle tensioni ammissibili in sede di verifica di 1/3:

$$D+0,75*(L+ L_R+W) \quad (10)$$

$$0,60D+W \quad (11)$$

$$D+L+ L_R \quad (12)$$

$$D+L+W \quad (13)$$

Dove i simboli utilizzati sono:
- D Dead Load, ovvero i carichi permanenti;
- L Live Load, ovvero i carichi variabili ad eccezione dei carichi variabili in copertura;
- L_R Live Load Roof, ovvero i carichi variabili sulla copertura;
- W Wind Load, ovvero l'azione del vento.

Alla luce dei risultati ottenuti dalle differenti combinazioni è possibile valutare se la struttura soddisfa le verifiche o se sono necessarie delle modifiche al predimensionamento di massima.
Si procede dunque con il predimensionamento degli elementi strutturali e la determinazione dei carichi gravanti sulla struttura.

[15] Trattate nel paragrafo 203.4.2 dell'NSCP.

5.2 Predimensionamento di massima e analisi dei carichi

5.2.1 Predimensionamento di massima

Il predimensionamento di un componente prevede la scelta della forma, delle dimensioni e del materiale della sezione. Con l'impiego del bambù le possibilità di variazione si riducono alla scelta di una specie piuttosto che un'altra, perché presenta diametri di diversa grandezza o spessori di parete maggiori.
Sul piano pratico il processo di dimensionamento si concretizza nella ricerca delle dimensioni minime della sezione che soddisfino la verifica di resistenza. Lo sforzo limite è rappresentato dal limite di rottura, che nel bambù è diverso a trazione e a compressione.

Il predimensionamento dei componenti strutturali viene effettuato a partire dalle caratteristiche fisiche e meccaniche del bambù; la totalità degli elementi strutturali e non strutturali è infatti realizzata con questo materiale.
Dal punto di vista prestazionale le proprietà del bambù variano al modificarsi di numerosi fattori ed è perciò fondamentale valutarli con attenzione in fase di progetto. Tra i principali aspetti troviamo la specie di bambù considerata, l'età della pianta al momento della raccolta, il contenuto di umidità e il trattamento a cui esso è sottoposto, come mostrato nel precedente capitolo 3.

Al fine del calcolo effettuato in questa tesi sono stati tenuti in considerazione i parametri relativi alla specie di bambù Phyllostachys Edulis[16], seccato e trattato per resistere all'attacco di funghi e insetti, con un contenuto di umidità incluso tra il 10 e il 15%. È stato preso come riferimento un peso specifico medio di 6 kN/m^3, considerato rappresentativo sia per i culmi interi che per gli elementi ricavati per suddivisione dello stesso in porzioni più piccole, come i listelli di bambù splittato e i semiculmi.

La **struttura portante** è di tipo pendolare e i suoi componenti sono composti dall'associazione di diversi culmi di diametro 10 cm. In particolare i pilastri sono formati da 3 culmi allineati, mentre le travi di copertura e di correa da 2 culmi; anche i correnti superiori e inferiori delle travi reticolari che costituiscono il basamento prevedono sempre culmi accoppiati.
Gli elementi non strutturali sono realizzati in pannelli modulari o elementi longilinei, successivamente fissati alla struttura portante, come i listelli di pavimento e i semiculmi di copertura.

5.2.2 Analisi dei carichi

Viene condotta un'analisi di tipo statico: assegnato un sistema di carichi statici distribuiti o concentrati si ricavano le reazioni vincolari e le sollecitazioni. Ogni elemento strutturale viene assunto come corpo rigido, quindi indeformabile.
Nell'assegnazione dei carichi ambientali influisce la collocazione della struttura, che viene ipoteticamente localizzata a Sorsogon, nelle Filippine.
I carichi verticali vengono calcolati a partire da quelli gravanti sul piano di copertura per poi procedere sino alle fondazioni, secondo la gerarchia strutturale per azioni verticali.

Pesi propri

Dalle caratteristiche geometriche di ogni componente si è calcolato il peso proprio di tutti gli elementi, riassunti nella tabella sottostante (tabella 18). In generale il **peso proprio** degli strati funzionali è stato calcolato come segue:
1) Avvalendosi dello spessore medio s, moltiplicato per il peso specifico P_s e la lunghezza di influenza della trave l, per ottenere il carico a metro lineare q_l;

[16] La specie è stata scelta nell'ottica di realizzare il prototipo sperimentale dell'abitazione nel contesto di Torino: Ph. Edulis è infatti una specie adeguata al contesto climatico del Nord Italia.

$$q_l = P_s \cdot s \cdot l$$

(14)

2) Considerando l'area della corona circolare A moltiplicata per il peso specifico P_s, ad ottenere il carico a metro lineare.

$$q_l = A \cdot P_s$$

(15)

Per le travi reticolari si è proceduto in modo differente: definita la sezione delle tre tipologie di travi si è moltiplicata l'area della corona circolare per la lunghezza totale l_{tot} ottenuta dalla somma delle lunghezze dei correnti, dei montanti e dei diagonali.

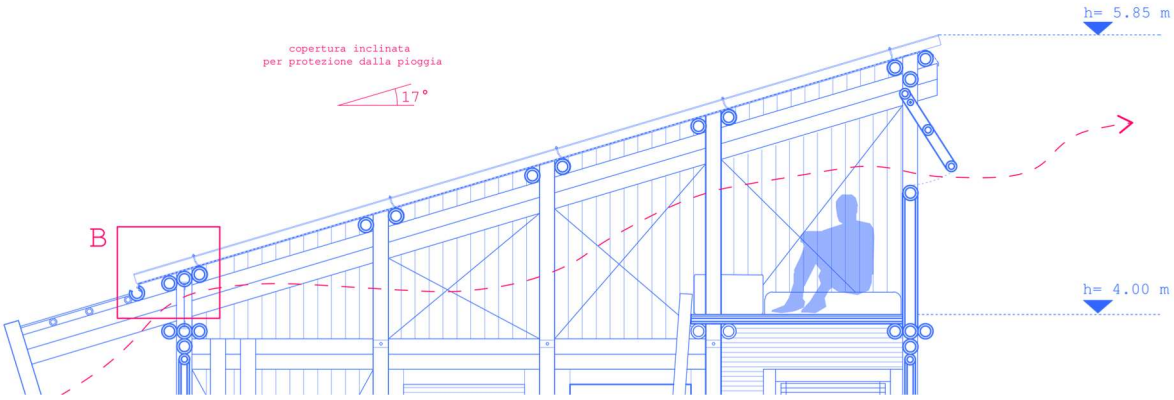
$$q_{TrX} = A \cdot l_{tot}$$

(16)

elemento	peso specifico (KN/m³)	spessore medio (m)	De (m)	Di (m)	Area (mq)	n pezzi	Lunghezza (m)	A tot (mq)
semiculmi bambù copertura	6,000	0,050						
travetti pavimento	6,000		0,070	0,046	0,0022	33,000	4,900	0,072
travi copertura lungo X	6,000		0,100	0,070	0,004	2,000		0,008
travi copertura lungo Y	6,000		0,100	0,070	0,004	2,000		0,008
listelli bambù pavimento	6,000	0,030						
Pilastri	6,000		0,100	0,070	0,004	3,000		0,012
tamponamento	6,000		0,100	0,070	0,004	92,000		0,369
travi reticolari secondarie TX	6,000		0,100	0,070	0,004		24,290	0,000
travi reticolari principali TY	6,000		0,100	0,070	0,004		48,560	0,000
travi reticolari terziarie ty	6,000		0,100	0,070	0,004		17,150	0,000

Tabella 18. Tabella riassuntiva delle caratteristiche fisiche dei componenti del progetto.

Carichi gravanti sulla copertura



Sulla copertura gravano: il peso proprio dei semiculmi, il carico variabile come da NSCP e il carico del vento. Si considera che essi vengano trasmessi al primo elemento strutturale al di sotto dello strato di rivestimento, ovvero le travi secondarie di copertura, che si sviluppano lungo l'asse X.
Per considerare nel calcolo l'inclinazione della copertura si è utilizzata la formula:

$$Q' = Q/cos\ \alpha$$

(17)

dal momento che il generico metro quadro di copertura, cui corrisponde il valore del carico unitario, si proietta sull'orizzontale su una superficie minore, proporzionale al coseno dell'angolo α di inclinazione della falda, corrisponde nel progetto a 17°. Perciò il calcolo delle reazioni e sollecitazioni dovute ai carichi

permanenti e variabili può essere comunque svolto sulla struttura proiettata sul piano orizzontale, dividendo il carico Q per $cos\ \alpha$.

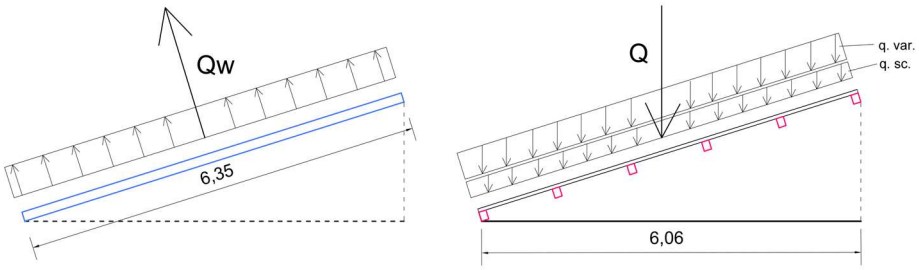


Figura 75. A) Carico del vento sulla copertura. Esso grava sui semiculmi (in blu); B) carico permanente e variabile gravante sulle travi secondarie di copertura (in rosso).

Il peso proprio dei semiculmi è stato calcolato con il metodo 1), espresso attraverso la formula 14, mentre il peso proprio delle travi secondarie di copertura con il metodo 2), formula 15.
Il carico variabile e il carico del vento sono indicati per m^2 di superficie, si individuano quindi le lunghezze di influenza per ricondurre i valori a carichi lineari espressi in m.
Il carico complessivo, proprio e portato, di ognuna delle travi secondarie di copertura, è riassunto nella tabella 19.

	trave t5	trave t6, t8	trave t7	trave t9	trave tk	
pp tX=	0,048	0,048	0,048	0,048	0,024	kN/m
q sc=	0,180	0,332	0,304	0,180	/	kN/m
q variabile=	0,902	0,941	0,863	0,510	/	kN/m
q vento=	-3,680	-3,840	-3,520	-2,080	-1,600	kN/m
q tot=	-2,550	-2,519	-2,305	-1,342	-1,576	kN/m

Tabella 19. Carichi sulle travi secondarie di copertura, la trave tk non sorregge la copertura di semiculmi né è calpestabile.

Le travi principali di copertura si sviluppano lungo l'asse Y: Il loro peso proprio è dato dalla formula 15, con l'incremento dovuto alla proiezione dell'inclinazione sul piano orizzontale (figura 75).
Esse assorbono tutti i carichi della copertura come carichi concentrati, collocati in corrispondenza delle travi Y.

Carichi gravanti sulle travi reticolari

Attraverso i pilastri il flusso di carichi proveniente dalla copertura si scarica sulla piattaforma di travi reticolari, primariamente sulle travi reticolari che corrono lungo l'asse X, dette TX.
Su di esse gravano anche i carichi propri della trave stessa, i carichi propri degli strati di pavimento, dei pilastri e delle pareti di tamponamento, nonché i carichi variabili del piano di calpestio, definiti nel paragrafo precedente.

Il peso proprio delle travi reticolari è stato calcolato come precedentemente indicato (equazione 16).
Il peso proprio dei pilastri e delle aste inclinate di facciata, PP_p, viene definito dalla formula che segue, considerando l'altezza media h_m:

$$PP_p = A \cdot P_S \cdot h_m \qquad (18)$$

Il peso proprio in metri lineari dei travetti di pavimento si ottiene a partire dal carico gravante su tutta l'area di pavimento. L'area è coperta da 33 travetti, con un diametro di 7 cm e lunghi 4,90 m. Successivamente si divide per i mq di pavimento e si moltiplica per la lunghezza di influenza di ogni trave reticolare.
Il peso proprio dei listelli di rivestimento è calcolato con la formula 14, mentre il carico a metro lineare per i pannelli di tamponamento PP_t è dato da:

$$PP_t = P_s \cdot A \cdot n \cdot h_m \qquad (19)$$

dove P_s è il peso specifico, A l'area di un culmo, n il numero di culmi che stanno in un metro lineare, h_m l'altezza media del tamponamento.
Si traggono quindi i seguenti carichi distribuiti gravanti sulle travi reticolari lungo X (tabella 20), ai quali vanno aggiunti i carichi concentrati dei pilastri.
Sulle travi reticolari lungo Y, definite principali poiché gerarchicamente più importanti, gravano i carichi propri della trave stessa e i carichi concentrati in corrispondenza dell'appoggio delle reticolari secondarie. Vi sono inoltre i carichi distribuiti dei pannelli di tamponamento verticale.

	Tr5 e Tr9	Tr6 e Tr8	Tr7	TR1 e TR4	
pp trave=	0,117	0,117	0,117	0,229	kN/m
q strati pav=	0,177	0,327	0,299	/	kN/m
q variabile=	1,235	2,280	2,090	/	kN/m
q tamp.=	1,081	/	/	1,081	kN/m
q tot=	2,610	2,723	2,506	1,310	kN/m

Tabella 20. Carichi distribuiti sulle travi reticolari. Il tamponamento grava solo sulle travi di bordo, perciò tr5, tr9 e TR1 e TR4.

Al fine di calcolare il flusso dei carichi che attraversano la struttura si presenta dunque la gerarchia secondo la quale è stata concepita.

5.3 Gerarchia strutturale e schemi statici

La struttura si prefigura come composta da due parti: un basamento formato da travi reticolari, dove viene alloggiato il sistema di galleggiamento, e il modulo abitativo soprastante.

A permettere una traslazione verticale controllata del modulo e del basamento vengono introdotte 4 guide verticali sulle quali essi scorrono. Queste guide sono schematizzabili in mensole ancorate a terra il cui vincolo è la fondazione.
Il basamento di travi reticolari assolve a duplice funzione a seconda della condizione in cui si colloca il modulo: se il modulo è in condizione standard, ovvero appoggiato sulla fondazione, risponde ai carichi verticali permanenti e variabili e ai carichi orizzontali del vento; al sopraggiungere dell'inondazione il basamento trasmette la spinta dei barili all'abitazione, permettendole di galleggiare. In fase galleggiante i carichi orizzontali sono assorbiti dalle guide di scorrimento verticale. L'incastro a terra delle stesse è infatti soggetto a forze laterali che progressivamente si spostano verso l'alto, seguendo la salita dell'acqua. La condizione limite è fissata all'altezza massima raggiungibile dall'acqua.
Nella tesi si presuppone che le guide di scorrimento siano realizzate in acciaio e abbiano rigidezza laterale sufficiente per resistere alle sollecitazioni appena descritte. Il loro predimensionamento sarà oggetto di studio da parte del team studentesco.

La fondazione, oltre a essere vincolo a terra per le guide verticali, assolve alla trasmissione a terra dei carichi derivanti dal modulo abitativo, sebbene esso sia solo appoggiato ad essa e non vi sia continuità tra il sistema di fondazione e la struttura in elevazione verticale. Il calcolo della fondazione non è oggetto della presente tesi.
La struttura portante del modulo abitativo è pendolare. Le travi e i pilastri sono composti di diversi culmi interi di bambù connessi tra loro; gli elementi si sovrappongono e incastrano in modo simile ad una struttura portante lignea, sebbene con una logica strettamente legata al bambù e alle sue peculiari caratteristiche, molto diverse da quelle del legno.
La gerarchia degli elementi strutturali può essere schematizzata come segue:

1) Travi secondarie di copertura (lungo asse x);
2) Travi principali di copertura (lungo asse y);
3) Pilastri e pilastri inclinati;

4) Travi reticolari secondarie (lungo asse x);
5) Travi reticolari principali (lungo asse y);
6) Plinti di fondazione.

Vi sono inoltre 4 travi di correa, collocate a 4 m dal suolo, che irrigidiscono l'intera struttura.

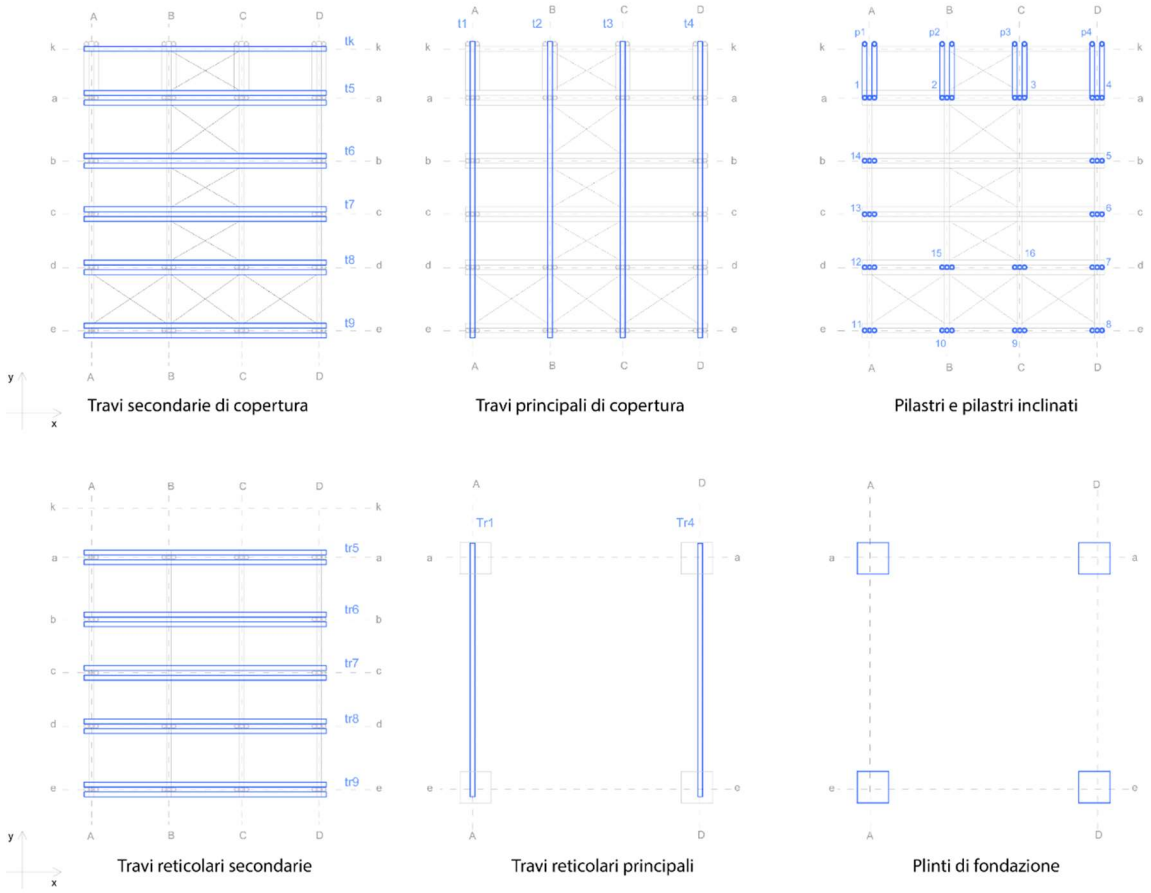


Figura 76. Piante strutturali con individuazione della gerarchia strutturale per azioni verticali.

Al fine della valutazione dell'equilibrio della struttura si rappresentano gli **schemi statici** degli elementi strutturali, ove figurano le forze impresse dai carichi precedentemente calcolati.

Le **travi secondarie** di copertura sono schematizzate in figura 77 come travi poggiate su più appoggi, poiché ognuna di esse è sorretta dalle travi principali di copertura nei punti A, B, C, D. Ogni porzione di trave viene considerata come se fosse vincolata a terra da una cerniera e da un carrello.
Poiché queste travi sono soggette solo a carichi distribuiti le reazioni vincolari in ogni estremo sono date da:

$$R = \frac{ql}{2} \qquad (20)$$

I valori di taglio agli appoggi sono espressi dalla formula:

$$V = \frac{ql}{2} \qquad (21)$$

Il momento flettente massimo è collocato nella mezzeria di ogni campata ed è pari a:

$$M_{max} = \frac{ql^2}{8}$$

(22)

Il diagramma delle azioni interne mostra un andamento lineare per il taglio e parabolico per il momento (figura 86).

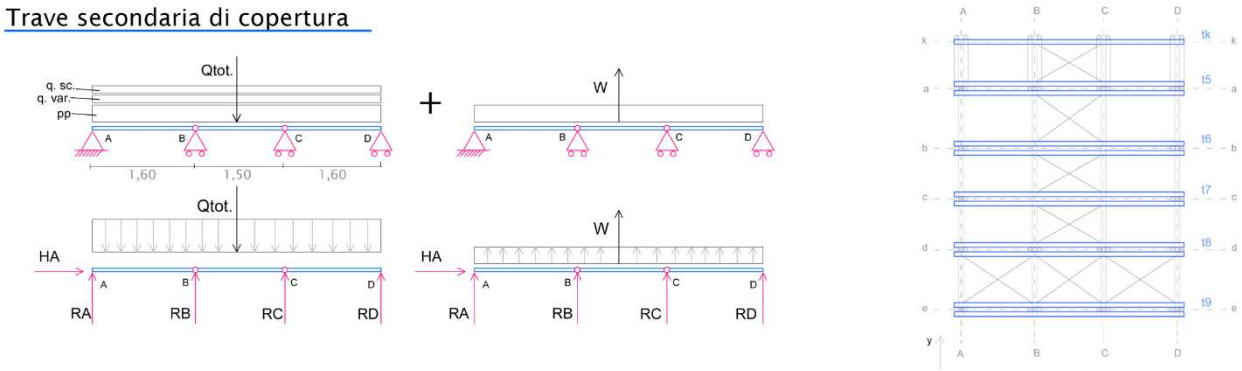


Figura 77. Schemi statici trave secondaria di copertura.

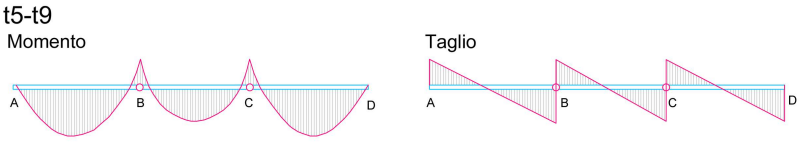


Figura 78. Diagrammi azioni interne delle travi secondarie di copertura.

I valori delle reazioni vincolari, considerando solo i carichi permanenti e variabili, solo rappresentati in tabella 21. Con l'aggiunta dei carichi da vento le reazioni vincolari hanno verso opposto, a causa della direzione del vento e della sua entità.

			D+L					D+L+W			
	t5	**t6 e t8**	**t7**	**t9**	**tk**	**t5**	**t6 e t8**	**t7**	**t9**	**tk**	
RA =	0,904	1,057	0,972	0,590	0,019	-2,040	-2,015	-1,844	-1,074	-1,261	kN
RB =	1,751	2,047	1,883	1,143	0,037	-3,953	-3,905	-3,573	-2,081	-2,443	kN
RC =	1,751	2,047	1,883	1,143	0,037	-3,953	-3,905	-3,573	-2,081	-2,443	kN
RD =	0,904	1,057	0,972	0,590	0,019	-2,040	-2,015	-1,844	-1,074	-1,261	kN

Tabella 21. Reazioni vincolari delle travi secondarie di copertura, senza (sx) e con (dx) carico di vento.

Le reazioni vincolari delle travi secondarie di copertura, cambiate di verso, sono carichi concentrati che gravano sulle **travi principali**. Le travi principali sono rappresentate da due schemi statici differenti poiché le travi di bordo, ovvero t1 e t4, sono poggiate su 6 appoggi e il loro schema corrisponde a quello presentato in precedenza, mentre le travi t2 e t3 sono poggiate su 4 appoggi.
Sulle tutte queste travi gravano sia carichi concentrati, in corrispondenza delle travi secondarie, che carichi distribuiti, dovuti al peso proprio e al peso del cannicciato di copertura esterna nella campata ka.

Lo schema di t1 e t4 corrisponde a quello presentato in precedenza ad eccezione della presenza dei carichi puntuali, perciò la risoluzione degli schemi di t1 e t4 è la medesima descritta in precedenza per quanto concerne il valore del taglio e del momento (equazioni 21 e 22), mentre varia per le reazioni vincolari, con l'aggiunta dei carichi concentrati. Ad esempio la reazione vincolare della trave t1 nel punto a, $R_a t1$, sarà pari a:

$$R_a t1 = \frac{ql}{2} + R_a t5$$

(23)

dove $R_a t5$ è la reazione vincolare della trave secondaria t5, che grava come carico concentrato sul punto a (figura 88).

Lo schema di t2 e t3 è invece differente. La struttura risulta essere un'asta vincolata a terra da una cerniera e 3 carrelli. Poiché in questo modo la struttura è 2 volte iperstatica ci si avvale del metodo di Gerber al fine di renderla isostatica (figura 79). Si introducono quindi due cerniere interne in corrispondenza dei punti dove il momento è nullo. Si ottengono dunque 3 aste (9 GdL), con 9 GdV ed è possibile risolvere la trave attraverso le 3 equazioni cardinali della statica, aprendo solo in un secondo momento i vincoli interni.
Dalla risoluzione delle differenti combinazioni risultano le reazioni vincolari della tabella 22 e il diagramma delle azioni interne di figura 80.

	D+0,75(L+Lr+W)	0,60 D+W	D+L+Lr	D+L+W	
Rk T2= Rk T3=	-0,04	-1,58	1,30	-1,06	kN
Ra T2= Ra T3=	7,1	15,08	-6,30	13,62	kN
Rd T2= RdT3=	6,61	12,09	-5,22	12,91	kN
Re T2= Re T3=	0,24	1,45	-0,21	0,44	kN

Tabella 22. Reazioni vincolari delle travi principali di copertura t2 e t3.

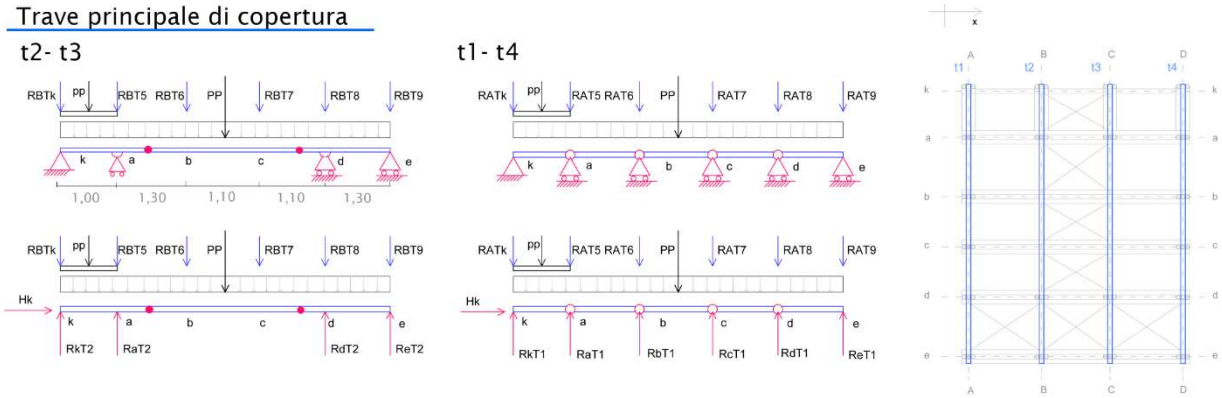


Figura 79. travi principali di copertura: a sx la trave Gerber per la risoluzione dell'iperstaticità di t2 e t3.

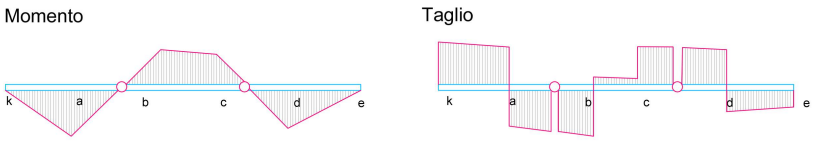


Figura 80. Diagrammi azioni interne travi principali di copertura t2 e t3 (trave Gerber).

Le travi t2 e t3 sono maggiormente sollecitate rispetto alle travi di bordo, e allo stesso modo anche i pilastri che le sostengono. Al variare della combinazione di carico considerata le reazioni vincolari cambiano di segno, determinando sforzi di trazione o compressione nei pilastri (tabella 22).

Lo schema statico dei pilastri è rappresentato da un'asta vincolata a terra da una cerniera e da un carrello (figura 89). Il sistema è isostatico. Le forze impresse dalle travi di copertura si trasmette ad essi come attraverso carichi concentrati posti sulla loro sommità. Per le aste inclinate di facciata si considera il carico Q_k per le sue componenti proiettate sugli assi x e y e si prende in esame solo la componente lungo y.
Il carico $Q_k{}'$ al piede dell'asta inclinata è pari a:

$$Q_k{}' = \left({}^{Q_k}/_{cos\,\alpha}\right) + PP_a \qquad (24)$$

Dove $cos\,\alpha$ è uguale a 0,956 radianti e PP_a è il peso proprio dell'asta inclinata.

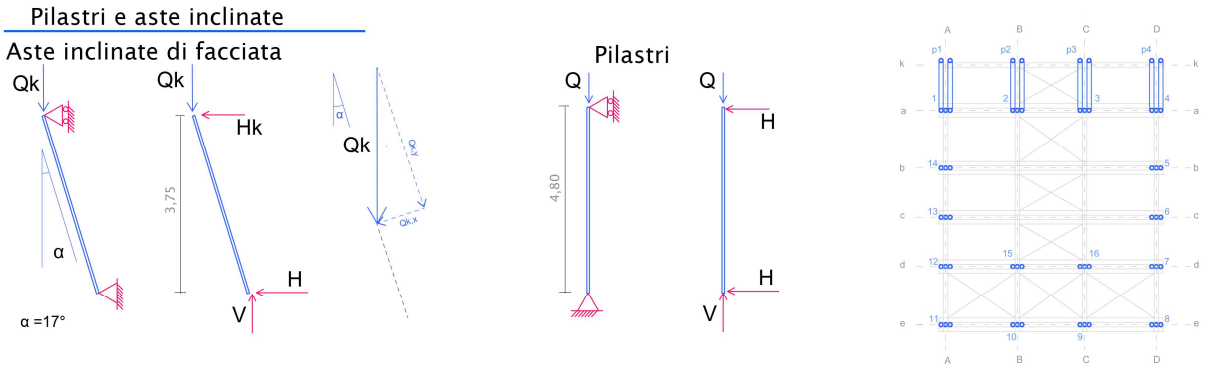


Figura 81. Schemi statici delle aste inclinate di facciata e dei pilastri.

Il flusso di forze proveniente dagli strati superiori si trasmette alle travi reticolari secondarie, ovvero quelle che corrono lungo l'asse x, come carico concentrato. Per le travi di Tr5, Tr8 e Tr9 il carico concentrato si applica nei punti A, B, C e D; per le altre travi solo alle estremità. Sulla trave tr5 confluiscono i carichi sia dei pilastri che delle aste inclinate di facciata.
Su tutte le travi gravano inoltre i carichi distribuiti degli strati di pavimento, del carico variabile, del peso proprio delle travi, come rappresentati nella figura 82 e nella tabella 17.
Per calcolare il flusso di forze che giunge sulle travi reticolari si impiega inizialmente un modello unifilare, che permette di calcolare rapidamente le reazioni vincolari dei due ordini di travi. Per conoscere l'andamento delle azioni interne si ricorre alla rappresentazione classica, ove le aste che compongono la trave sono connesse dai nodi.
Tutti i carichi gravanti sulle aste vengono trasferiti ai nodi di estremità come carichi concentrati Q_n. I carichi distribuiti q vengono suddivisi tra i nodi adiacenti all'asta sollecitata tramite la seguente formula:

$$Q_n = q \cdot \frac{l}{2} \qquad (25)$$

Le aste di una trave reticolare sono sollecitate esclusivamente da sforzo normale di compressione o di trazione. Lo schema di reticolare applicato è stato scelto poiché in esso tutti i montanti risultano compressi e tutte le aste diagonali sono tese.

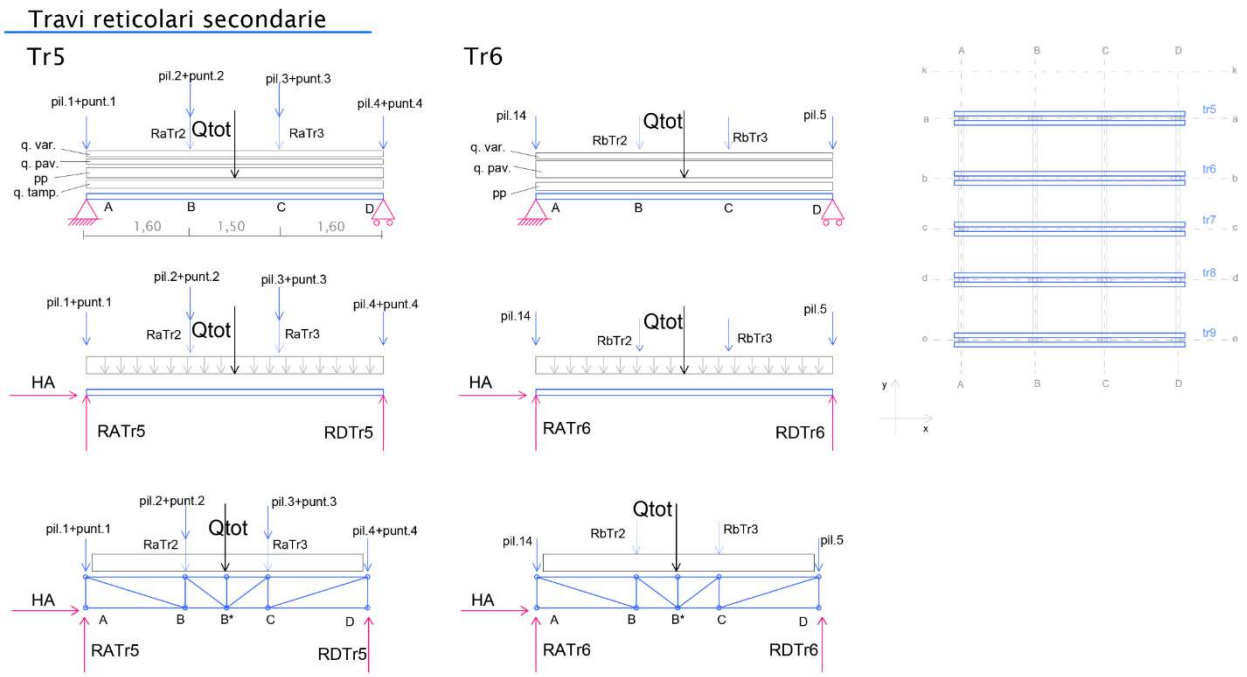


Figura 82. Schemi statici delle travi reticolari secondarie.

Le reazioni vincolari delle travi secondarie diventano carichi concentrati sulle travi reticolari principali, applicate nei punti a, b, c, d, e.
Sulle travi gravano anche i carichi lineari delle pareti di tamponamento e il peso proprio delle travi stesse. Essi vengono redistribuiti ai nodi secondo la formula 25.

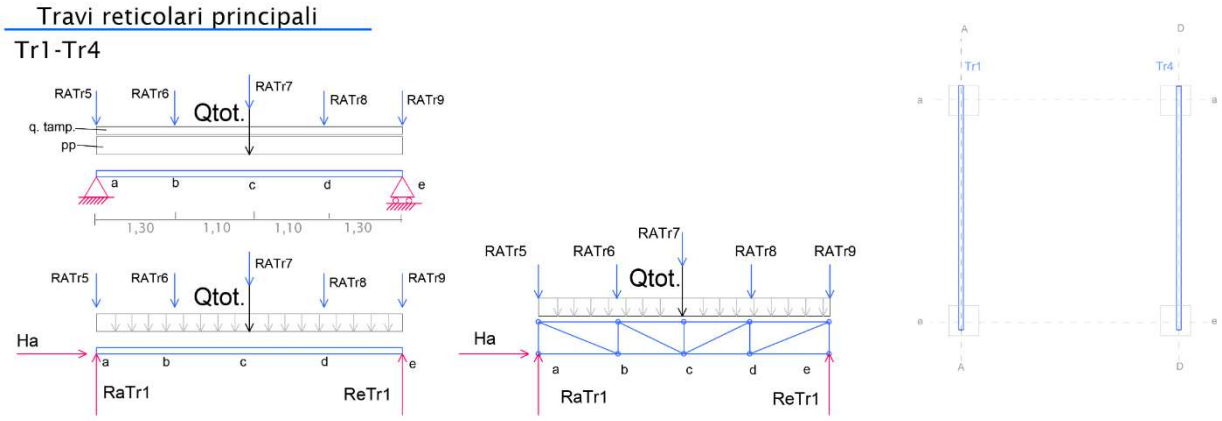
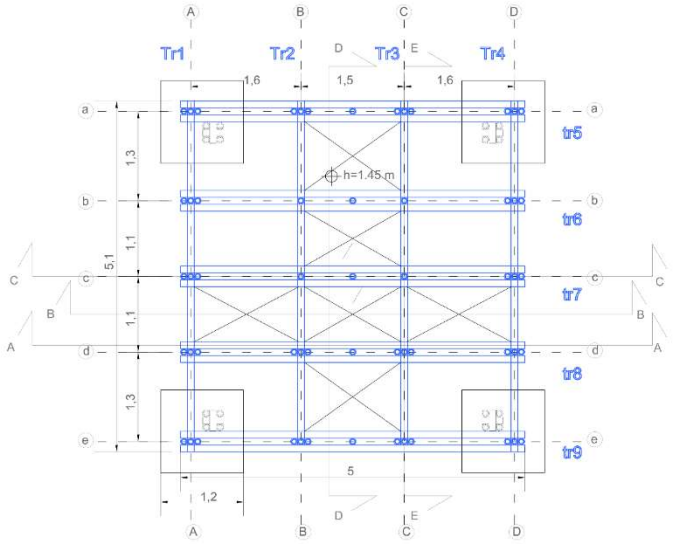
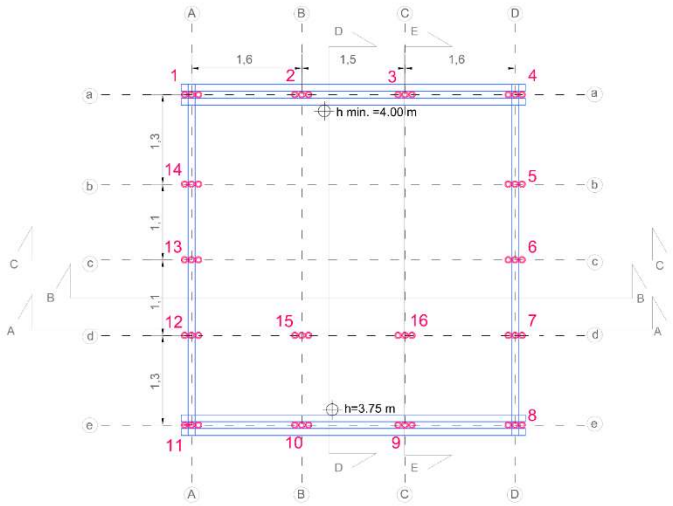


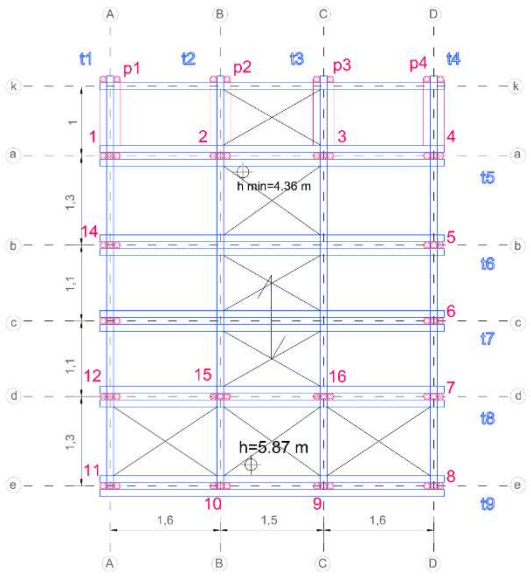
Figura 83. Schema statico delle travi reticolari principali.



pianta strutturale piano di calpestio (+1,45 m)



Pianta strutturale correa (+4.00 m)



Pianta strutturale copertura (+5.85 m)

Figura 84. Piante strutturali.

5.4 Verifiche statiche

Al fine di verificare la resistenza degli elementi strutturali alle sollecitazioni ci si avvale delle formule presentate nel paragrafo 5.1.2.
Per le travi di copertura, poiché soggette a flessione, vengono studiate sia le tensioni normali σ che le tensioni tangenziali τ di progetto. Per i pilastri si considerano soltanto le tensioni normali, così come per le aste delle travi reticolari.
I valori di tensione normale vengono verificati soltanto a compressione, per mancanza di valori caratteristici per la trazione.

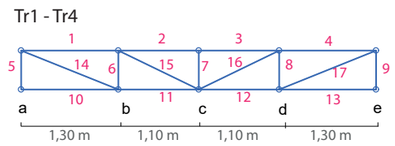
COMBINAZIONE CARICHI DEAD LOAD + 0,75 (WIND + LIVE LOAD + ROOF LIVE LOAD)

TRAVI COPERTURA	sezione elemento	Lunghezza (proiezione su piano orizz.) (m)	Area della corona circolare	Momento d'inerzia (m^4)	Taglio max		Momento flettente max		Tensione normale σ				tens. amm. (Mpa)		verifica		tensione tangenziale τ				tens. amm. (Mpa)*1,33	verifica	
T1		5,10			0,049	kN	0,012	kNm	82,321	kN/m2 o Kpa	0,082	MPa	24,667	Mpa	0,003	verificato	6,133	kN/m2	0,006	Mpa	1,906	0,003	verificato
T2		5,10			2,652	kN	1,720	kNm	11527,685	kN/m2 o Kpa	11,528	MPa	24,667	Mpa	0,467	verificato	331,085	kN/m2	0,331	Mpa	1,906	0,174	verificato
T3		5,10			2,652	kN	1,720	kNm	11527,685	kN/m2 o Kpa	11,528	MPa	24,667	Mpa	0,467	verificato	331,085	kN/m2	0,331	Mpa	1,906	0,174	verificato
T4		5,10	0,008	0,000004	0,049	kN	0,012	kNm	82,321	kN/m2 o Kpa	0,082	MPa	24,667	Mpa	0,003	verificato	6,133	kN/m2	0,006	Mpa	1,906	0,003	verificato
t5		5,00			-1,485	kN	-0,594	kNm	-7960,271	kN/m2 o Kpa	-7,960	MPa	24,667	Mpa	-0,323	verificato	-358,376	kN/m2	-0,358	Mpa	1,906	-0,188	verificato
t6		5,00			-1,435	kN	-0,574	kNm	-7696,670	kN/m2 o Kpa	-7,697	MPa	24,667	Mpa	-0,312	verificato	-358,376	kN/m2	-0,358	Mpa	1,906	-0,188	verificato
t7		5,00			-1,313	kN	-0,525	kNm	-7038,099	kN/m2 o Kpa	-7,038	MPa	24,667	Mpa	-0,285	verificato	-327,712	kN/m2	-0,328	Mpa	1,906	-0,172	verificato
t8		5,00			-1,435	kN	-0,574	kNm	-7696,670	kN/m2 o Kpa	-7,697	MPa	24,667	Mpa	-0,312	verificato	-358,376	kN/m2	-0,358	Mpa	1,906	-0,188	verificato
t9		5,00	0,008	0,000004	-0,760	kN	-0,304	kNm	-4074,533	kN/m2 o Kpa	-4,075	MPa	24,667	Mpa	-0,165	verificato	-358,376	kN/m2	-0,358	Mpa	1,906	-0,188	verificato
tk		5,00	0,004	0,000004	-0,941	kN	-0,376	kNm	-5044,158	kN/m2 o Kpa	-5,044	MPa	24,667	Mpa	-0,204	verificato	-234,869	kN/m3	-0,235	Mpa	1,906	-0,123	verificato

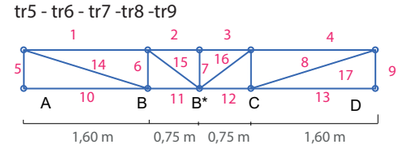
TRAVI RETICOLARI	sezione elemento	Lunghezza (m)	Area della corona circolare	Momento d'inerzia	elemento		Sforzo normale			Tensione normale σ				tens. amm. (Mpa)	verifica	
Tr1=Tr4		1,30	0,008	0,000004	correnti sup.	asta 1=	-14,280	kN	compressa	σ_{a1}=	-1782,535	kN/m² o Kpa	-1,783	Mpa	18,667	-0,095	verificato
		1,10				asta 2=	-18,100	kN	compressa	σ_{a2}=	-2259,376	kN/m² o Kpa	-2,259	Mpa	18,667	-0,121	verificato
		1,10				asta 3=	-18,100	kN	compressa	σ_{a3}=	-2259,376	kN/m² o Kpa	-2,259	Mpa	18,667	-0,121	verificato
		1,30				asta 4=	-14,280	kN	compressa	σ_{a4}=	-1782,535	kN/m² o Kpa	-1,783	Mpa	18,667	-0,095	verificato
		0,76	0,004	0,000004	montanti	asta 5=	-29,210	kN	compressa	σ_{a5}=	-7292,417	kN/m² o Kpa	-7,292	Mpa	18,667	-0,391	verificato
		0,76				asta 6=	-7,560	kN	compressa	σ_{a6}=	-1887,390	kN/m² o Kpa	-1,887	Mpa	18,667	-0,101	verificato
		0,76				asta 7=	-4,560	kN	compressa	σ_{a7}=	-1138,426	kN/m² o Kpa	-1,138	Mpa	18,667	-0,061	verificato
		0,76				asta 8=	-7,560	kN	compressa	σ_{a8}=	-1887,390	kN/m² o Kpa	-1,887	Mpa	18,667	-0,101	verificato
		0,76				asta 9=	-18,080	kN	compressa	σ_{a9}=	-4513,759	kN/m² o Kpa	-4,514	Mpa	18,667	-0,242	verificato
		1,30	0,008	0,000004	correnti inf.	asta 10=	0,000	kN	compressa	σ_{a10}=	0,000	kN/m² o Kpa	0,000	Mpa	18,667	0,000	verificato
		1,10				asta 11=	14,280	kN	tesa	σ_{a11}=	1782,535	kN/m² o Kpa	1,783	Mpa	18,667	0,095	verificato
		1,10				asta 12=	14,280	kN	tesa	σ_{a12}=	1782,535	kN/m² o Kpa	1,783	Mpa	18,667	0,095	verificato
		1,30				asta 13=	0,000	kN	compressa	σ_{a13}=	0,000	kN/m² o Kpa	0,000	Mpa	18,667	0,000	verificato
		1,50	0,004	0,000004	diagonali	asta 14=	16,540	kN	tesa	σ_{a14}=	4129,291	kN/m² o Kpa	4,129	Mpa	18,667	0,221	verificato
		1,50				asta 15=	4,640	kN	tesa	σ_{a15}=	1158,398	kN/m² o Kpa	1,158	Mpa	18,667	0,062	verificato
		1,50				asta 16=	4,640	kN	tesa	σ_{a16}=	1158,398	kN/m² o Kpa	1,158	Mpa	18,667	0,062	verificato
		1,50				asta 17=	16,540	kN	tesa	σ_{a17}=	4129,291	kN/m² o Kpa	4,129	Mpa	18,667	0,221	verificato
TR5		1,60	0,016	0,000004	correnti sup.	asta 1=	-42,200	kN	compressa	σ_{a1}=	-2633,858	kN/m² o Kpa	-2,634	Mpa	18,667	-0,141	verificato
		0,75				asta 2=	-42,200	kN	compressa	σ_{a2}=	-2633,858	kN/m² o Kpa	-2,634	Mpa	18,667	-0,141	verificato
		0,75				asta 3=	-42,200	kN	compressa	σ_{a3}=	-2633,858	kN/m² o Kpa	-2,634	Mpa	18,667	-0,141	verificato
		1,60				asta 4=	-42,200	kN	compressa	σ_{a4}=	-2633,858	kN/m² o Kpa	-2,634	Mpa	18,667	-0,141	verificato
		0,77	0,004	0,000004	montanti	asta 5=	-19,420	kN	compressa	σ_{a5}=	-4848,296	kN/m² o Kpa	-4,848	Mpa	18,667	-0,260	verificato
		0,77				asta 6=	-18,960	kN	compressa	σ_{a6}=	-4733,455	kN/m² o Kpa	-4,733	Mpa	18,667	-0,254	verificato
		0,77				asta 7=	-0,860	kN	compressa	σ_{a7}=	-214,703	kN/m² o Kpa	-0,215	Mpa	18,667	-0,012	verificato
		0,77				asta 8=	-18,960	kN	compressa	σ_{a8}=	-4733,455	kN/m² o Kpa	-4,733	Mpa	18,667	-0,254	verificato
		0,77				asta 9=	-19,420	kN	compressa	σ_{a9}=	-4848,296	kN/m² o Kpa	-4,848	Mpa	18,667	-0,260	verificato
		1,60	0,016	0,000004	correnti inf.	asta 10=	0,000	kN	compressa	σ_{a10}=	0,000	kN/m² o Kpa	0,000	Mpa	18,667	0,000	verificato
		0,75				asta 11=	-43,040	kN	compressa	σ_{a11}=	-2686,286	kN/m² o Kpa	-2,686	Mpa	18,667	-0,144	verificato
		0,75				asta 12=	-43,040	kN	compressa	σ_{a12}=	-2686,286	kN/m² o Kpa	-2,686	Mpa	18,667	-0,144	verificato
		1,60				asta 13=	0,000	kN	compressa	σ_{a13}=	0,000	kN/m² o Kpa	0,000	Mpa	18,667	0,000	verificato
		1,78	0,004	0,000004	diagonali	asta 14=	46,840	kN	tesa	σ_{a14}=	11693,831	kN/m² o Kpa	11,694	Mpa	18,667	0,626	verificato
		1,78				asta 15=	1,200	kN	tesa	σ_{a15}=	299,586	kN/m² o Kpa	0,300	Mpa	18,667	0,016	verificato
		1,78				asta 16=	1,200	kN	tesa	σ_{a16}=	299,586	kN/m² o Kpa	0,300	Mpa	18,667	0,016	verificato
		1,78				asta 17=	46,840	kN	tesa	σ_{a17}=	11693,831	kN/m² o Kpa	11,694	Mpa	18,667	0,626	verificato
TR9		1,60	0,016	0,000004	correnti sup.	asta 1=	-17,370	kN	compressa	σ_{a1}=	-1084,126	kN/m² o Kpa	-1,084	Mpa	18,667	-0,058	verificato
		0,75				asta 2=	-17,370	kN	compressa	σ_{a2}=	-1084,126	kN/m² o Kpa	-1,084	Mpa	18,667	-0,058	verificato
		0,75				asta 3=	-17,370	kN	compressa	σ_{a3}=	-1084,126	kN/m² o Kpa	-1,084	Mpa	18,667	-0,058	verificato
		1,60				asta 4=	-17,370	kN	compressa	σ_{a4}=	-1084,126	kN/m² o Kpa	-1,084	Mpa	18,667	-0,058	verificato
		0,77	0,004	0,000004	montanti	asta 5=	-8,180	kN	compressa	σ_{a5}=	-510,544	kN/m² o Kpa	-0,511	Mpa	18,667	-0,027	verificato
		0,77				asta 6=	-7,010	kN	compressa	σ_{a6}=	-437,520	kN/m² o Kpa	-0,438	Mpa	18,667	-0,023	verificato
		0,77				asta 7=	-0,860	kN	compressa	σ_{a7}=	-53,676	kN/m² o Kpa	-0,054	Mpa	18,667	-0,003	verificato
		0,77				asta 8=	-7,010	kN	compressa	σ_{a8}=	-437,520	kN/m² o Kpa	-0,438	Mpa	18,667	-0,023	verificato
		0,77				asta 9=	-8,180	kN	compressa	σ_{a9}=	-510,544	kN/m² o Kpa	-0,511	Mpa	18,667	-0,027	verificato
		1,60	0,016	0,000004	correnti inf.	asta 10=	0,000	kN	compressa	σ_{a10}=	0,000	kN/m² o Kpa	0,000	Mpa	18,667	0,000	verificato
		0,75				asta 11=	-18,210	kN	compressa	σ_{a11}=	-1136,554	kN/m² o Kpa	-1,137	Mpa	18,667	-0,061	verificato
		0,75				asta 12=	-18,210	kN	compressa	σ_{a12}=	-1136,554	kN/m² o Kpa	-1,137	Mpa	18,667	-0,061	verificato
		1,60				asta 13=	0,000	kN	compressa	σ_{a13}=	0,000	kN/m² o Kpa	0,000	Mpa	18,667	0,000	verificato
		1,78	0,004	0,000004	diagonali	asta 14=	19,280	kN	tesa	σ_{a14}=	4813,345	kN/m² o Kpa	4,813	Mpa	18,667	0,258	verificato
		1,78				asta 15=	1,200	kN	tesa	σ_{a15}=	299,586	kN/m² o Kpa	0,300	Mpa	18,667	0,016	verificato
		1,78				asta 16=	1,200	kN	tesa	σ_{a16}=	299,586	kN/m² o Kpa	0,300	Mpa	18,667	0,016	verificato
		1,78				asta 17=	19,280	kN	tesa	σ_{a17}=	4813,345	kN/m² o Kpa	4,813	Mpa	18,667	0,258	verificato

Geometria travi

Tr1 - Tr4



tr5 - tr6 - tr7 -tr8 -tr9

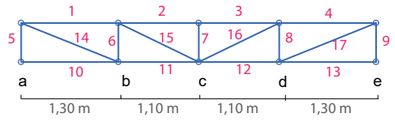


COMBINAZIONE CARICHI DEAD LOAD + 0,75 (WIND + LIVE LOAD + ROOF LIVE LOAD)

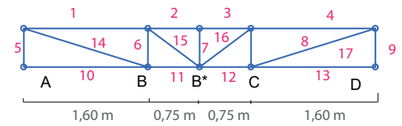
TR7		1,60	0,016	0,000004	correnti sup.	asta 1=	-6,550	kN	compressa	σ_{a1}=	-408,810	kN/m² o Kpa	-0,409	Mpa	18,667	-0,022	verificato
		0,75				asta 2=	-6,550	kN	compressa	σ_{a2}=	-408,810	kN/m² o Kpa	-0,409	Mpa	18,667	-0,022	verificato
		0,75				asta 3=	-6,550	kN	compressa	σ_{a3}=	-408,810	kN/m² o Kpa	-0,409	Mpa	18,667	-0,022	verificato
		1,60				asta 4=	-6,550	kN	compressa	σ_{a4}=	-408,810	kN/m² o Kpa	-0,409	Mpa	18,667	-0,022	verificato
		0,77	0,004	0,000004	montanti	asta 5=	-3,030	kN	compressa	σ_{a5}=	-756,454	kN/m² o Kpa	-0,756	Mpa	18,667	-0,041	verificato
		0,77				asta 6=	-1,990	kN	compressa	σ_{a6}=	-496,813	kN/m² o Kpa	-0,497	Mpa	18,667	-0,027	verificato
		0,77				asta 7=	-0,740	kN	compressa	σ_{a7}=	-184,745	kN/m² o Kpa	-0,185	Mpa	18,667	-0,010	verificato
		0,77				asta 8=	-1,990	kN	compressa	σ_{a8}=	-496,813	kN/m² o Kpa	-0,497	Mpa	18,667	-0,027	verificato
		0,77				asta 9=	-3,030	kN	compressa	σ_{a9}=	-756,454	kN/m² o Kpa	-0,756	Mpa	18,667	-0,041	verificato
		1,60	0,016	0,000004	correnti inf.	asta 10=	0,000	kN	compressa	σ_{a10}=	0,000	kN/m² o Kpa	0,000	Mpa	18,667	0,000	verificato
		0,75				asta 11=	-7,270	kN	compressa	σ_{a11}=	-453,748	kN/m² o Kpa	-0,454	Mpa	18,667	-0,024	verificato
		0,75				asta 12=	-7,270	kN	compressa	σ_{a12}=	-453,748	kN/m² o Kpa	-0,454	Mpa	18,667	-0,024	verificato
		1,60				asta 13=	0,000	kN	compressa	σ_{a13}=	0,000	kN/m² o Kpa	0,000	Mpa	18,667	0,000	verificato
		1,78	0,004	0,000004	diagonali	asta 14=	7,260	kN	tesa	σ_{a14}=	1812,494	kN/m² o Kpa	1,812	Mpa	18,667	0,097	verificato
		1,78				asta 15=	1,030	kN	tesa	σ_{a15}=	257,144	kN/m² o Kpa	0,257	Mpa	18,667	0,014	verificato
		1,78				asta 16=	1,030	kN	tesa	σ_{a16}=	257,144	kN/m² o Kpa	0,257	Mpa	18,667	0,014	verificato
		1,78				asta 17=	7,260	kN	tesa	σ_{a17}=	1812,494	kN/m² o Kpa	1,812	Mpa	18,667	0,097	verificato
TR6		1,60	0,016	0,000004	correnti sup.	asta 1=	-7,110	kN	compressa	σ_{a1}=	-443,761	kN/m² o Kpa	-0,444	Mpa	18,667	-0,024	verificato
		0,75				asta 2=	-7,110	kN	compressa	σ_{a2}=	-443,761	kN/m² o Kpa	-0,444	Mpa	18,667	-0,024	verificato
		0,75				asta 3=	-7,110	kN	compressa	σ_{a3}=	-443,761	kN/m² o Kpa	-0,444	Mpa	18,667	-0,024	verificato
		1,60				asta 4=	-7,110	kN	compressa	σ_{a4}=	-443,761	kN/m² o Kpa	-0,444	Mpa	18,667	-0,024	verificato
		0,77	0,004	0,000004	montanti	asta 5=	-3,260	kN	compressa	σ_{a5}=	-813,875	kN/m² o Kpa	-0,814	Mpa	18,667	-0,044	verificato
		0,77				asta 6=	-2,160	kN	compressa	σ_{a6}=	-539,254	kN/m² o Kpa	-0,539	Mpa	18,667	-0,029	verificato
		0,77				asta 7=	-0,800	kN	compressa	σ_{a7}=	-199,724	kN/m² o Kpa	-0,200	Mpa	18,667	-0,011	verificato
		0,77				asta 8=	-2,160	kN	compressa	σ_{a8}=	-539,254	kN/m² o Kpa	-0,539	Mpa	18,667	-0,029	verificato
		0,77				asta 9=	-3,260	kN	compressa	σ_{a9}=	-813,875	kN/m² o Kpa	-0,814	Mpa	18,667	-0,044	verificato
		1,60	0,016	0,000004	correnti inf.	asta 10=	0,000	kN	compressa	σ_{a10}=	0,000	kN/m² o Kpa	0,000	Mpa	18,667	0,000	verificato
		0,75				asta 11=	-7,890	kN	compressa	σ_{a11}=	-492,444	kN/m² o Kpa	-0,492	Mpa	18,667	-0,026	verificato
		0,75				asta 12=	-7,890	kN	compressa	σ_{a12}=	-492,444	kN/m² o Kpa	-0,492	Mpa	18,667	-0,026	verificato
		1,60				asta 13=	0,000	kN	compressa	σ_{a13}=	0,000	kN/m² o Kpa	0,000	Mpa	18,667	0,000	verificato
		1,78	0,004	0,000004	diagonali	asta 14=	7,890	kN	tesa	σ_{a14}=	1969,776	kN/m² o Kpa	1,970	Mpa	18,667	0,106	verificato
		1,78				asta 15=	1,120	kN	tesa	σ_{a15}=	279,613	kN/m² o Kpa	0,280	Mpa	18,667	0,015	verificato
		1,78				asta 16=	1,120	kN	tesa	σ_{a16}=	279,613	kN/m² o Kpa	0,280	Mpa	18,667	0,015	verificato
		1,78				asta 17=	7,890	kN	tesa	σ_{a17}=	1969,776	kN/m² o Kpa	1,970	Mpa	18,667	0,106	verificato
TR8		1,60	7645,938	0,000004	correnti sup.	asta 1=	-21,550	kN	compressa	σ_{a1}=	-1345,015	kN/m² o Kpa	-1,345	Mpa	18,667	-0,072	verificato
		0,75				asta 2=	-22,330	kN	compressa	σ_{a2}=	-1393,698	kN/m² o Kpa	-1,394	Mpa	18,667	-0,075	verificato
		0,75				asta 3=	-22,330	kN	compressa	σ_{a3}=	-1393,698	kN/m² o Kpa	-1,394	Mpa	18,667	-0,075	verificato
		1,60				asta 4=	-21,550	kN	compressa	σ_{a4}=	-1345,015	kN/m² o Kpa	-1,345	Mpa	18,667	-0,072	verificato
		0,77	1911,485	0,000004	montanti	asta 5=	-10,210	kN	compressa	σ_{a5}=	-2548,976	kN/m² o Kpa	-2,549	Mpa	18,667	-0,137	verificato
		0,77				asta 6=	-9,130	kN	compressa	σ_{a6}=	-2279,348	kN/m² o Kpa	-2,279	Mpa	18,667	-0,122	verificato
		0,77				asta 7=	-0,800	kN	compressa	σ_{a7}=	-199,724	kN/m² o Kpa	-0,200	Mpa	18,667	-0,011	verificato
		0,77				asta 8=	-9,130	kN	compressa	σ_{a8}=	-2279,348	kN/m² o Kpa	-2,279	Mpa	18,667	-0,122	verificato
		0,77				asta 9=	-10,210	kN	compressa	σ_{a9}=	-2548,976	kN/m² o Kpa	-2,549	Mpa	18,667	-0,137	verificato
		1,60	7645,938	0,000004	correnti inf.	asta 10=	0,000	kN	compressa	σ_{a10}=	0,000	kN/m² o Kpa	0,000	Mpa	18,667	0,000	verificato
		0,75				asta 11=	21,550	kN	tesa	σ_{a11}=	1345,015	kN/m² o Kpa	1,345	Mpa	18,667	0,072	verificato
		0,75				asta 12=	21,550	kN	tesa	σ_{a12}=	1345,015	kN/m² o Kpa	1,345	Mpa	18,667	0,072	verificato
		1,60				asta 13=	0,000	kN	compressa	σ_{a13}=	0,000	kN/m² o Kpa	0,000	Mpa	18,667	0,000	verificato
		1,78	1911,485	0,000004	diagonali	asta 14=	23,910	kN	tesa	σ_{a14}=	5969,247	kN/m² o Kpa	5,969	Mpa	18,667	0,320	verificato
		1,78				asta 15=	1,120	kN	tesa	σ_{a15}=	279,613	kN/m² o Kpa	0,280	Mpa	18,667	0,015	verificato
		1,78				asta 16=	1,120	kN	tesa	σ_{a16}=	279,613	kN/m² o Kpa	0,280	Mpa	18,667	0,015	verificato
		1,78				asta 17=	23,910	kN	tesa	σ_{a17}=	5969,247	kN/m² o Kpa	5,969	Mpa	18,667	0,320	verificato

Geometria travi

Tr1 - Tr4



tr5 - tr6 - tr7 -tr8 -tr9



COMBINAZIONE CARICHI DEAD LOAD + 0,75 (WIND + LIVE LOAD + ROOF LIVE LOAD)

PILASTRI	Sezione elemento	Lunghezza (m)	Area della corona circolare	Momento d'inerzia (m^4)	Sforzo normale		Tensione normale σ				valore amm. (Mpa)	verifica	
1		4,8	0,012	0,000004	-1,057	kN	-87,943	kN/m^2 o Kpa	-0,088	Mpa	18,667	-0,005	verificato
2		4,8			7,386	kN	614,657	kN/m^2 o Kpa	0,615	Mpa	18,667	0,033	verificato
3		4,8			7,386	kN	614,657	kN/m^2 o Kpa	0,615	Mpa	18,667	0,033	verificato
4		4,8			-1,057	kN	-87,943	kN/m^2 o Kpa	-0,088	Mpa	18,667	-0,005	verificato
5		4,8			-1,029	kN	-85,639	kN/m^2 o Kpa	-0,086	Mpa	18,667	-0,005	verificato
6		4,8			-0,911	kN	-75,836	kN/m^2 o Kpa	-0,076	Mpa	18,667	-0,004	verificato
7		4,8			-1,029	kN	-85,639	kN/m^2 o Kpa	-0,086	Mpa	18,667	-0,005	verificato
8		4,8			-1,106	kN	-92,031	kN/m^2 o Kpa	-0,092	Mpa	18,667	-0,005	verificato
9		4,8			0,566	kN	47,108	kN/m^2 o Kpa	0,047	Mpa	18,667	0,003	verificato
10		4,8			0,566	kN	47,108	kN/m^2 o Kpa	0,047	Mpa	18,667	0,003	verificato
11		4,8			-1,106	kN	-92,031	kN/m^2 o Kpa	-0,092	Mpa	18,667	-0,005	verificato
12		4,8			-1,029	kN	-85,639	kN/m^2 o Kpa	-0,086	Mpa	18,667	-0,005	verificato
13		4,8			-0,911	kN	-75,836	kN/m^2 o Kpa	-0,076	Mpa	18,667	-0,004	verificato
14		4,8			-1,029	kN	-85,639	kN/m^2 o Kpa	-0,086	Mpa	18,667	-0,005	verificato
15		4,8			6,996	kN	582,202	kN/m^2 o Kpa	0,582	Mpa	18,667	0,031	verificato
16		4,8			6,996	kN	582,202	kN/m^2 o Kpa	0,582	Mpa	18,667	0,031	verificato
Puntone 1		3,75	0,008	0,000004	-0,752	kN	-93,887	kN/m^2 o Kpa	-0,094	Mpa	18,667	-0,005	verificato
Puntone 2		3,75			0,170	kN	21,195	kN/m^2 o Kpa	0,021	Mpa	18,667	0,001	verificato
Puntone 3		3,75			0,170	kN	21,195	kN/m^2 o Kpa	0,021	Mpa	18,667	0,001	verificato
Puntone 4		3,75			-0,752	kN	-93,887	kN/m^2 o Kpa	-0,094	Mpa	18,667	-0,005	verificato

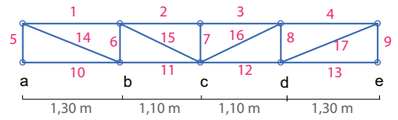
COMBINAZIONE CARICHI 0,60 DEAD LOAD + WIND

TRAVI COPERTURA	sezione elemento	Lunghezza (proiezione su piano orizz.) (m)	Area della corona circolare	Momento d'inerzia (m^4)	Taglio max		Momento flettente max		Tensione normale σ				tens. amm. (Mpa)		verifica		tensione tangenziale τ				tens. amm. (Mpa)*1,33	verifica	
T1		5,10			0,039	kN	0,010	kNm	65,478	kN/m² o Kpa	0,065	MPa	24,667	Mpa	0,003	verificato	4,878	kN/m2	0,005	Mpa	1,906	0,003	verificato
T2		5,10			-5,429	kN	3,540	kNm	23725,585	kN/m² o Kpa	23,726	MPa	24,667	Mpa	0,962	verificato	-677,636	kN/m2	-0,678	Mpa	1,906	-0,355	verificato
T3		5,10			-5,429	kN	3,540	kNm	23725,585	kN/m² o Kpa	23,726	MPa	24,667	Mpa	0,962	verificato	-677,636	kN/m2	-0,678	Mpa	1,906	-0,355	verificato
T4		5,10	0,008	0,000004	0,039	kN	0,010	kNm	65,478	kN/m² o Kpa	0,065	MPa	24,667	Mpa	0,003	verificato	4,878	kN/m2	0,005	Mpa	1,906	0,003	verificato
t5		5,00			-2,835	kN	-1,134	kNm	-15198,730	kN/m² o Kpa	-15,199	MPa	24,667	Mpa	-0,616	verificato	-721,427	kN/m2	-0,721	Mpa	1,906	-0,378	verificato
t6		5,00			-2,890	kN	-1,156	kNm	-15493,725	kN/m² o Kpa	-15,494	MPa	24,667	Mpa	-0,628	verificato	-721,427	kN/m2	-0,721	Mpa	1,906	-0,378	verificato
t7		5,00			-2,647	kN	-1,059	kNm	-14192,272	kN/m² o Kpa	-14,192	MPa	24,667	Mpa	-0,575	verificato	-660,828	kN/m2	-0,661	Mpa	1,906	-0,347	verificato
t8		5,00			-2,890	kN	-1,156	kNm	-15493,725	kN/m² o Kpa	-15,494	MPa	24,667	Mpa	-0,628	verificato	-721,427	kN/m2	-0,721	Mpa	1,906	-0,378	verificato
t9		5,00	0,008	0,000004	-1,555	kN	-0,622	kNm	-8335,736	kN/m² o Kpa	-8,336	MPa	24,667	Mpa	-0,338	verificato	-721,427	kN/m2	-0,721	Mpa	1,906	-0,378	verificato
tk		5,00	0,004	0,000004	-1,268	kN	-0,507	kNm	-6801,142	kN/m² o Kpa	-6,801	MPa	24,667	Mpa	-0,276	verificato	-316,678	kN/m3	-0,317	Mpa	1,906	-0,166	verificato

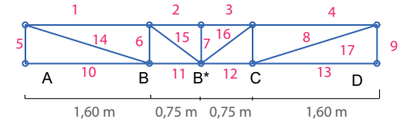
TRAVI RETICOLARI	sezione elemento	Lunghezza (m)	Area della corona circolare	Momento d'inerzia	elemento		Sforzo normale			Tensione normale σ				tens. amm. (Mpa)	verifica	
Tr1=Tr4		1,30	0,008	0,000004	correnti sup.	asta 1=	-14,280	kN	compressa	σ_{a1}=	-1782,535	kN/m² o Kpa	-1,783	Mpa	18,667	-0,095	verificato
		1,10				asta 2=	-18,100	kN	compressa	σ_{a2}=	-2259,376	kN/m² o Kpa	-2,259	Mpa	18,667	-0,121	verificato
		1,10				asta 3=	-18,100	kN	compressa	σ_{a3}=	-2259,376	kN/m² o Kpa	-2,259	Mpa	18,667	-0,121	verificato
		1,30				asta 4=	-14,280	kN	compressa	σ_{a4}=	-1782,535	kN/m² o Kpa	-1,783	Mpa	18,667	-0,095	verificato
		0,76	0,004	0,000004	montanti	asta 5=	-29,210	kN	compressa	σ_{a5}=	-7292,417	kN/m² o Kpa	-7,292	Mpa	18,667	-0,391	verificato
		0,76				asta 6=	-7,560	kN	compressa	σ_{a6}=	-1887,390	kN/m² o Kpa	-1,887	Mpa	18,667	-0,101	verificato
		0,76				asta 7=	-4,560	kN	compressa	σ_{a7}=	-1138,426	kN/m² o Kpa	-1,138	Mpa	18,667	-0,061	verificato
		0,76				asta 8=	-7,560	kN	compressa	σ_{a8}=	-1887,390	kN/m² o Kpa	-1,887	Mpa	18,667	-0,101	verificato
		0,76				asta 9=	-18,080	kN	compressa	σ_{a9}=	-4513,759	kN/m² o Kpa	-4,514	Mpa	18,667	-0,242	verificato
		1,30	0,008	0,000004	correnti inf.	asta 10=	0,000	kN	compressa	σ_{a10}=	0,000	kN/m² o Kpa	0,000	Mpa	18,667	0,000	verificato
		1,10				asta 11=	14,280	kN	tesa	σ_{a11}=	1782,535	kN/m² o Kpa	1,783	Mpa	18,667	0,095	verificato
		1,10				asta 12=	14,280	kN	tesa	σ_{a12}=	1782,535	kN/m² o Kpa	1,783	Mpa	18,667	0,095	verificato
		1,30				asta 13=	0,000	kN	compressa	σ_{a13}=	0,000	kN/m² o Kpa	0,000	Mpa	18,667	0,000	verificato
		1,50	0,004	0,000004	diagonali	asta 14=	16,540	kN	tesa	σ_{a14}=	4129,291	kN/m² o Kpa	4,129	Mpa	18,667	0,221	verificato
		1,50				asta 15=	4,640	kN	tesa	σ_{a15}=	1158,398	kN/m² o Kpa	1,158	Mpa	18,667	0,062	verificato
		1,50				asta 16=	4,640	kN	tesa	σ_{a16}=	1158,398	kN/m² o Kpa	1,158	Mpa	18,667	0,062	verificato
		1,50				asta 17=	16,540	kN	tesa	σ_{a17}=	4129,291	kN/m² o Kpa	4,129	Mpa	18,667	0,221	verificato
TR5		1,60	0,016	0,000004	correnti sup.	asta 1=	-42,200	kN	compressa	σ_{a1}=	-2633,858	kN/m² o Kpa	-2,634	Mpa	18,667	-0,141	verificato
		0,75				asta 2=	-42,200	kN	compressa	σ_{a2}=	-2633,858	kN/m² o Kpa	-2,634	Mpa	18,667	-0,141	verificato
		0,75				asta 3=	-42,200	kN	compressa	σ_{a3}=	-2633,858	kN/m² o Kpa	-2,634	Mpa	18,667	-0,141	verificato
		1,60				asta 4=	-42,200	kN	compressa	σ_{a4}=	-2633,858	kN/m² o Kpa	-2,634	Mpa	18,667	-0,141	verificato
		0,77	0,004	0,000004	montanti	asta 5=	-19,420	kN	compressa	σ_{a5}=	-4848,296	kN/m² o Kpa	-4,848	Mpa	18,667	-0,260	verificato
		0,77				asta 6=	-18,960	kN	compressa	σ_{a6}=	-4733,455	kN/m² o Kpa	-4,733	Mpa	18,667	-0,254	verificato
		0,77				asta 7=	-0,860	kN	compressa	σ_{a7}=	-214,703	kN/m² o Kpa	-0,215	Mpa	18,667	-0,012	verificato
		0,77				asta 8=	-18,960	kN	compressa	σ_{a8}=	-4733,455	kN/m² o Kpa	-4,733	Mpa	18,667	-0,254	verificato
		0,77				asta 9=	-19,420	kN	compressa	σ_{a9}=	-4848,296	kN/m² o Kpa	-4,848	Mpa	18,667	-0,260	verificato
		1,60	0,016	0,000004	correnti inf.	asta 10=	0,000	kN	compressa	σ_{a10}=	0,000	kN/m² o Kpa	0,000	Mpa	18,667	0,000	verificato
		0,75				asta 11=	-43,040	kN	compressa	σ_{a11}=	-2686,286	kN/m² o Kpa	-2,686	Mpa	18,667	-0,144	verificato
		0,75				asta 12=	-43,040	kN	compressa	σ_{a12}=	-2686,286	kN/m² o Kpa	-2,686	Mpa	18,667	-0,144	verificato
		1,60				asta 13=	0,000	kN	compressa	σ_{a13}=	0,000	kN/m² o Kpa	0,000	Mpa	18,667	0,000	verificato
		1,78	0,004	0,000004	diagonali	asta 14=	46,840	kN	tesa	σ_{a14}=	11693,831	kN/m² o Kpa	11,694	Mpa	18,667	0,626	verificato
		1,78				asta 15=	1,200	kN	tesa	σ_{a15}=	299,586	kN/m² o Kpa	0,300	Mpa	18,667	0,016	verificato
		1,78				asta 16=	1,200	kN	tesa	σ_{a16}=	299,586	kN/m² o Kpa	0,300	Mpa	18,667	0,016	verificato
		1,78				asta 17=	46,840	kN	tesa	σ_{a17}=	11693,831	kN/m² o Kpa	11,694	Mpa	18,667	0,626	verificato
TR9		1,60	0,016	0,000004	correnti sup.	asta 1=	-17,370	kN	compressa	σ_{a1}=	-1084,126	kN/m² o Kpa	-1,084	Mpa	18,667	-0,058	verificato
		0,75				asta 2=	-17,370	kN	compressa	σ_{a2}=	-1084,126	kN/m² o Kpa	-1,084	Mpa	18,667	-0,058	verificato
		0,75				asta 3=	-17,370	kN	compressa	σ_{a3}=	-1084,126	kN/m² o Kpa	-1,084	Mpa	18,667	-0,058	verificato
		1,60				asta 4=	-17,370	kN	compressa	σ_{a4}=	-1084,126	kN/m² o Kpa	-1,084	Mpa	18,667	-0,058	verificato
		0,77	0,004	0,000004	montanti	asta 5=	-8,180	kN	compressa	σ_{a5}=	-510,544	kN/m² o Kpa	-0,511	Mpa	18,667	-0,027	verificato
		0,77				asta 6=	-7,010	kN	compressa	σ_{a6}=	-437,520	kN/m² o Kpa	-0,438	Mpa	18,667	-0,023	verificato
		0,77				asta 7=	-0,860	kN	compressa	σ_{a7}=	-53,676	kN/m² o Kpa	-0,054	Mpa	18,667	-0,003	verificato
		0,77				asta 8=	-7,010	kN	compressa	σ_{a8}=	-437,520	kN/m² o Kpa	-0,438	Mpa	18,667	-0,023	verificato
		0,77				asta 9=	-8,180	kN	compressa	σ_{a9}=	-510,544	kN/m² o Kpa	-0,511	Mpa	18,667	-0,027	verificato
		1,60	0,016	0,000004	correnti inf.	asta 10=	0,000	kN	compressa	σ_{a10}=	0,000	kN/m² o Kpa	0,000	Mpa	18,667	0,000	verificato
		0,75				asta 11=	-18,210	kN	compressa	σ_{a11}=	-1136,554	kN/m² o Kpa	-1,137	Mpa	18,667	-0,061	verificato
		0,75				asta 12=	-18,210	kN	compressa	σ_{a12}=	-1136,554	kN/m² o Kpa	-1,137	Mpa	18,667	-0,061	verificato
		1,60				asta 13=	0,000	kN	compressa	σ_{a13}=	0,000	kN/m² o Kpa	0,000	Mpa	18,667	0,000	verificato
		1,78	0,004	0,000004	diagonali	asta 14=	19,280	kN	tesa	σ_{a14}=	4813,345	kN/m² o Kpa	4,813	Mpa	18,667	0,258	verificato
		1,78				asta 15=	1,200	kN	tesa	σ_{a15}=	299,586	kN/m² o Kpa	0,300	Mpa	18,667	0,016	verificato
		1,78				asta 16=	1,200	kN	tesa	σ_{a16}=	299,586	kN/m² o Kpa	0,300	Mpa	18,667	0,016	verificato
		1,78				asta 17=	19,280	kN	tesa	σ_{a17}=	4813,345	kN/m² o Kpa	4,813	Mpa	18,667	0,258	verificato

Geometria travi

Tr1 - Tr4



tr5 - tr6 - tr7 -tr8 -tr9

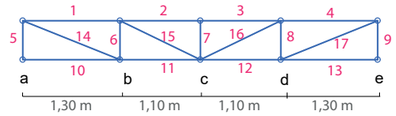


COMBINAZIONE CARICHI 0,60 DEAD LOAD + WIND

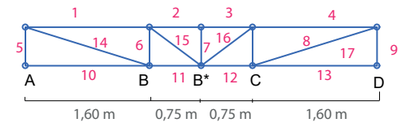
TR7		1,60	0,016	0,000004	correnti sup.	asta 1=	-6,550	kN	compressa	σ_{a1}=	-408,810	kN/m^2 o Kpa	-0,409	Mpa	18,667	-0,022	verificato
		0,75				asta 2=	-6,550	kN	compressa	σ_{a2}=	-408,810	kN/m^2 o Kpa	-0,409	Mpa	18,667	-0,022	verificato
		0,75				asta 3=	-6,550	kN	compressa	σ_{a3}=	-408,810	kN/m^2 o Kpa	-0,409	Mpa	18,667	-0,022	verificato
		1,60				asta 4=	-6,550	kN	compressa	σ_{a4}=	-408,810	kN/m^2 o Kpa	-0,409	Mpa	18,667	-0,022	verificato
		0,77	0,004	0,000004	montanti	asta 5=	-3,030	kN	compressa	σ_{a5}=	-756,454	kN/m^2 o Kpa	-0,756	Mpa	18,667	-0,041	verificato
		0,77				asta 6=	-1,990	kN	compressa	σ_{a6}=	-496,813	kN/m^2 o Kpa	-0,497	Mpa	18,667	-0,027	verificato
		0,77				asta 7=	-0,740	kN	compressa	σ_{a7}=	-184,745	kN/m^2 o Kpa	-0,185	Mpa	18,667	-0,010	verificato
		0,77				asta 8=	-1,990	kN	compressa	σ_{a8}=	-496,813	kN/m^2 o Kpa	-0,497	Mpa	18,667	-0,027	verificato
		0,77				asta 9=	-3,030	kN	compressa	σ_{a9}=	-756,454	kN/m^2 o Kpa	-0,756	Mpa	18,667	-0,041	verificato
		1,60	0,016	0,000004	correnti inf.	asta 10=	0,000	kN	compressa	σ_{a10}=	0,000	kN/m^2 o Kpa	0,000	Mpa	18,667	0,000	verificato
		0,75				asta 11=	-7,270	kN	compressa	σ_{a11}=	-453,748	kN/m^2 o Kpa	-0,454	Mpa	18,667	-0,024	verificato
		0,75				asta 12=	-7,270	kN	compressa	σ_{a12}=	-453,748	kN/m^2 o Kpa	-0,454	Mpa	18,667	-0,024	verificato
		1,60				asta 13=	0,000	kN	compressa	σ_{a13}=	0,000	kN/m^2 o Kpa	0,000	Mpa	18,667	0,000	verificato
		1,78	0,004	0,000004	diagonali	asta 14=	7,260	kN	tesa	σ_{a14}=	1812,494	kN/m^2 o Kpa	1,812	Mpa	18,667	0,097	verificato
		1,78				asta 15=	1,030	kN	tesa	σ_{a15}=	257,144	kN/m^2 o Kpa	0,257	Mpa	18,667	0,014	verificato
		1,78				asta 16=	1,030	kN	tesa	σ_{a16}=	257,144	kN/m^2 o Kpa	0,257	Mpa	18,667	0,014	verificato
		1,78				asta 17=	7,260	kN	tesa	σ_{a17}=	1812,494	kN/m^2 o Kpa	1,812	Mpa	18,667	0,097	verificato
TR6		1,60	0,016	0,000004	correnti sup.	asta 1=	-7,110	kN	compressa	σ_{a1}=	-443,761	kN/m^2 o Kpa	-0,444	Mpa	18,667	-0,024	verificato
		0,75				asta 2=	-7,110	kN	compressa	σ_{a2}=	-443,761	kN/m^2 o Kpa	-0,444	Mpa	18,667	-0,024	verificato
		0,75				asta 3=	-7,110	kN	compressa	σ_{a3}=	-443,761	kN/m^2 o Kpa	-0,444	Mpa	18,667	-0,024	verificato
		1,60				asta 4=	-7,110	kN	compressa	σ_{a4}=	-443,761	kN/m^2 o Kpa	-0,444	Mpa	18,667	-0,024	verificato
		0,77	0,004	0,000004	montanti	asta 5=	-3,260	kN	compressa	σ_{a5}=	-813,875	kN/m^2 o Kpa	-0,814	Mpa	18,667	-0,044	verificato
		0,77				asta 6=	-2,160	kN	compressa	σ_{a6}=	-539,254	kN/m^2 o Kpa	-0,539	Mpa	18,667	-0,029	verificato
		0,77				asta 7=	-0,800	kN	compressa	σ_{a7}=	-199,724	kN/m^2 o Kpa	-0,200	Mpa	18,667	-0,011	verificato
		0,77				asta 8=	-2,160	kN	compressa	σ_{a8}=	-539,254	kN/m^2 o Kpa	-0,539	Mpa	18,667	-0,029	verificato
		0,77				asta 9=	-3,260	kN	compressa	σ_{a9}=	-813,875	kN/m^2 o Kpa	-0,814	Mpa	18,667	-0,044	verificato
		1,60	0,016	0,000004	correnti inf.	asta 10=	0,000	kN	compressa	σ_{a10}=	0,000	kN/m^2 o Kpa	0,000	Mpa	18,667	0,000	verificato
		0,75				asta 11=	-7,890	kN	compressa	σ_{a11}=	-492,444	kN/m^2 o Kpa	-0,492	Mpa	18,667	-0,026	verificato
		0,75				asta 12=	-7,890	kN	compressa	σ_{a12}=	-492,444	kN/m^2 o Kpa	-0,492	Mpa	18,667	-0,026	verificato
		1,60				asta 13=	0,000	kN	compressa	σ_{a13}=	0,000	kN/m^2 o Kpa	0,000	Mpa	18,667	0,000	verificato
		1,78	0,004	0,000004	diagonali	asta 14=	7,890	kN	tesa	σ_{a14}=	1969,776	kN/m^2 o Kpa	1,970	Mpa	18,667	0,106	verificato
		1,78				asta 15=	1,120	kN	tesa	σ_{a15}=	279,613	kN/m^2 o Kpa	0,280	Mpa	18,667	0,015	verificato
		1,78				asta 16=	1,120	kN	tesa	σ_{a16}=	279,613	kN/m^2 o Kpa	0,280	Mpa	18,667	0,015	verificato
		1,78				asta 17=	7,890	kN	tesa	σ_{a17}=	1969,776	kN/m^2 o Kpa	1,970	Mpa	18,667	0,106	verificato
TR8		1,60	7645,938	0,000004	correnti sup.	asta 1=	-29,880	kN	compressa	σ_{a1}=	-1864,921	kN/m^2 o Kpa	-1,865	Mpa	18,667	-0,100	verificato
		0,75				asta 2=	-30,000	kN	compressa	σ_{a2}=	-1872,411	kN/m^2 o Kpa	-1,872	Mpa	18,667	-0,100	verificato
		0,75				asta 3=	-30,000	kN	compressa	σ_{a3}=	-1872,411	kN/m^2 o Kpa	-1,872	Mpa	18,667	-0,100	verificato
		1,60				asta 4=	-29,880	kN	compressa	σ_{a4}=	-1864,921	kN/m^2 o Kpa	-1,865	Mpa	18,667	-0,100	verificato
		0,77	1911,485	0,000004	montanti	asta 5=	-11,880	kN	compressa	σ_{a5}=	-2965,899	kN/m^2 o Kpa	-2,966	Mpa	18,667	-0,159	verificato
		0,77				asta 6=	-14,200	kN	compressa	σ_{a6}=	-3545,098	kN/m^2 o Kpa	-3,545	Mpa	18,667	-0,190	verificato
		0,77				asta 7=	-0,120	kN	compressa	σ_{a7}=	-29,959	kN/m^2 o Kpa	-0,030	Mpa	18,667	-0,002	verificato
		0,77				asta 8=	-14,200	kN	compressa	σ_{a8}=	-3545,098	kN/m^2 o Kpa	-3,545	Mpa	18,667	-0,190	verificato
		0,77				asta 9=	-11,880	kN	compressa	σ_{a9}=	-2965,899	kN/m^2 o Kpa	-2,966	Mpa	18,667	-0,159	verificato
		1,60	7645,938	0,000004	correnti inf.	asta 10=	0,000	kN	compressa	σ_{a10}=	0,000	kN/m^2 o Kpa	0,000	Mpa	18,667	0,000	verificato
		0,75				asta 11=	29,880	kN	tesa	σ_{a11}=	1864,921	kN/m^2 o Kpa	1,865	Mpa	18,667	0,100	verificato
		0,75				asta 12=	29,880	kN	tesa	σ_{a12}=	1864,921	kN/m^2 o Kpa	1,865	Mpa	18,667	0,100	verificato
		1,60				asta 13=	0,000	kN	compressa	σ_{a13}=	0,000	kN/m^2 o Kpa	0,000	Mpa	18,667	0,000	verificato
		1,78	1911,485	0,000004	diagonali	asta 14=	33,160	kN	tesa	σ_{a14}=	8278,554	kN/m^2 o Kpa	8,279	Mpa	18,667	0,443	verificato
		1,78				asta 15=	0,170	kN	tesa	σ_{a15}=	42,441	kN/m^2 o Kpa	0,042	Mpa	18,667	0,002	verificato
		1,78				asta 16=	0,170	kN	tesa	σ_{a16}=	42,441	kN/m^2 o Kpa	0,042	Mpa	18,667	0,002	verificato
		1,78				asta 17=	33,160	kN	tesa	σ_{a17}=	8278,554	kN/m^2 o Kpa	8,279	Mpa	18,667	0,443	verificato

Geometria travi

Tr1 - Tr4



tr5 - tr6 - tr7 -tr8 -tr9



COMBINAZIONE CARICHI 0,60 DEAD LOAD + WIND

PILASTRI	Sezione elemento	Lunghezza (m)	Area della corona circolare	Momento d'inerzia (m^4)	Sforzo normale		Tensione normale σ				valore amm. (Mpa)	verifica	
1		4,8	0,012	0,000004	-2,568	kN	-213,734	kN/m	-0,214	Mpa	18,667	-0,011	verificato
2		4,8			14,308	kN	1190,658	kN/m	1,191	Mpa	18,667	0,064	verificato
3		4,8			14,308	kN	1190,658	kN/m	1,191	Mpa	18,667	0,064	verificato
4		4,8			-2,568	kN	-213,734	kN/m	-0,214	Mpa	18,667	-0,011	verificato
5		4,8			-2,646	kN	-220,184	kN/m	-0,220	Mpa	18,667	-0,012	verificato
6		4,8			-2,406	kN	-200,235	kN/m	-0,200	Mpa	18,667	-0,011	verificato
7		4,8			-2,646	kN	-220,184	kN/m	-0,220	Mpa	18,667	-0,012	verificato
8		4,8			-2,607	kN	-216,986	kN/m	-0,217	Mpa	18,667	-0,012	verificato
9		4,8			0,618	kN	51,399	kN/m	0,051	Mpa	18,667	0,003	verificato
10		4,8			0,618	kN	51,399	kN/m	0,051	Mpa	18,667	0,003	verificato
11		4,8			-2,607	kN	-216,986	kN/m	-0,217	Mpa	18,667	-0,012	verificato
12		4,8			-2,646	kN	-220,184	kN/m	-0,220	Mpa	18,667	-0,012	verificato
13		4,8			-2,406	kN	-200,235	kN/m	-0,200	Mpa	18,667	-0,011	verificato
14		4,8			-2,646	kN	-220,184	kN/m	-0,220	Mpa	18,667	-0,012	verificato
15		4,8			13,848	kN	1152,377	kN/m	1,152	Mpa	18,667	0,062	verificato
16		4,8			13,848	kN	1152,377	kN/m	1,152	Mpa	18,667	0,062	verificato
Puntone 1		3,75	0,008	0,000004	-1,177	kN	-146,973	kN/m	-0,147	Mpa	18,667	-0,008	verificato
Puntone 2		3,75			1,300	kN	162,305	kN/m	0,162	Mpa	18,667	0,009	verificato
Puntone 3		3,75			1,300	kN	162,305	kN/m	0,162	Mpa	18,667	0,009	verificato
Puntone 4		3,75			-1,177	kN	-146,973	kN/m	-0,147	Mpa	18,667	-0,008	verificato

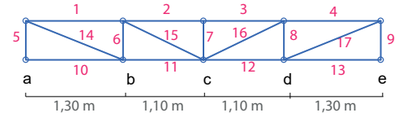
COMBINAZIONE CARICHI DEAD LOAD + LIVE LOAD + ROOF LIVE LOAD

TRAVI COPERTURA	sezione elemento	Lunghezza (proiezione su piano orizz.) (m)	Area della corona circolare	Momento d'inerzia (m^4)	Taglio max		Momento flettente max		Tensione normale σ				tens. amm. (Mpa)		verifica		tensione tangenziale τ				tens. amm. (Mpa)*1,33	verifica	
T1		5,10			0,049	kN	0,012	kNm	82,321	kN/m2 o Kpa	0,082	MPa	24,667	Mpa	0,003	verificato	6,133	kN/m2	0,006	Mpa	1,906	0,003	verificato
T2		5,10			5,596	kN	3,370	kNm	22586,221	kN/m2 o Kpa	22,586	MPa	24,667	Mpa	0,916	verificato	698,534	kN/m2	0,699	Mpa	1,906	0,366	verificato
T3		5,10			5,596	kN	3,370	kNm	22586,221	kN/m2 o Kpa	22,586	MPa	24,667	Mpa	0,916	verificato	698,534	kN/m2	0,699	Mpa	1,906	0,366	verificato
T4		5,10	0,008	0,000004	0,049	kN	0,012	kNm	82,321	kN/m2 o Kpa	0,082	MPa	24,667	Mpa	0,003	verificato	6,133	kN/m2	0,006	Mpa	1,906	0,003	verificato
t5		5,00			0,904	kN	0,361	kNm	4845,550	kN/m2 o Kpa	4,846	MPa	24,667	Mpa	0,196	verificato	263,820	kN/m2	0,264	Mpa	1,906	0,138	verificato
t6		5,00			1,057	kN	0,423	kNm	5665,925	kN/m2 o Kpa	5,666	MPa	24,667	Mpa	0,230	verificato	263,820	kN/m2	0,264	Mpa	1,906	0,138	verificato
t7		5,00			0,972	kN	0,389	kNm	5210,946	kN/m2 o Kpa	5,211	MPa	24,667	Mpa	0,211	verificato	242,635	kN/m2	0,243	Mpa	1,906	0,127	verificato
t8		5,00			1,057	kN	0,423	kNm	5665,925	kN/m2 o Kpa	5,666	MPa	24,667	Mpa	0,230	verificato	263,820	kN/m2	0,264	Mpa	1,906	0,138	verificato
t9		5,00	0,008	0,000004	0,590	kN	0,236	kNm	3163,540	kN/m2 o Kpa	3,164	MPa	24,667	Mpa	0,128	verificato	263,820	kN/m2	0,264	Mpa	1,906	0,138	verificato
tk		5,00	0,004	0,000004	0,019	kN	0,008	kNm	103,087	kN/m2 o Kpa	0,103	MPa	24,667	Mpa	0,004	verificato	4,800	kN/m3	0,005	Mpa	1,906	0,003	verificato

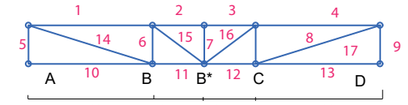
TRAVI RETICOLARI	sezione elemento	Lunghezza (m)	Area della corona circolare	Momento d'inerzia	elemento		Sforzo normale			Tensione normale σ				ens. amm. (Mpa	verifica	
Tr1=Tr4		1,30	0,008	0,000004	correnti sup.	asta 1=	-14,280	kN	compressa	σ_{a1}=	-1782,535	kN/m^2 o Kpa	-1,783	Mpa	18,667	-0,095	verificato
		1,10				asta 2=	-18,100	kN	compressa	σ_{a2}=	-2259,376	kN/m^2 o Kpa	-2,259	Mpa	18,667	-0,121	verificato
		1,10				asta 3=	-18,100	kN	compressa	σ_{a3}=	-2259,376	kN/m^2 o Kpa	-2,259	Mpa	18,667	-0,121	verificato
		1,30				asta 4=	-14,280	kN	compressa	σ_{a4}=	-1782,535	kN/m^2 o Kpa	-1,783	Mpa	18,667	-0,095	verificato
		0,76	0,004	0,000004	montanti	asta 5=	-29,210	kN	compressa	σ_{a5}=	-7292,417	kN/m^2 o Kpa	-7,292	Mpa	18,667	-0,391	verificato
		0,76				asta 6=	-7,560	kN	compressa	σ_{a6}=	-1887,390	kN/m^2 o Kpa	-1,887	Mpa	18,667	-0,101	verificato
		0,76				asta 7=	-4,560	kN	compressa	σ_{a7}=	-1138,426	kN/m^2 o Kpa	-1,138	Mpa	18,667	-0,061	verificato
		0,76				asta 8=	-7,560	kN	compressa	σ_{a8}=	-1887,390	kN/m^2 o Kpa	-1,887	Mpa	18,667	-0,101	verificato
		0,76				asta 9=	-18,080	kN	compressa	σ_{a9}=	-4513,759	kN/m^2 o Kpa	-4,514	Mpa	18,667	-0,242	verificato
		1,30	0,008	0,000004	correnti inf.	asta 10=	0,000	kN	compressa	σ_{a10}=	0,000	kN/m^2 o Kpa	0,000	Mpa	18,667	0,000	verificato
		1,10				asta 11=	14,280	kN	tesa	σ_{a11}=	1782,535	kN/m^2 o Kpa	1,783	Mpa	18,667	0,095	verificato
		1,10				asta 12=	14,280	kN	tesa	σ_{a12}=	1782,535	kN/m^2 o Kpa	1,783	Mpa	18,667	0,095	verificato
		1,30				asta 13=	0,000	kN	compressa	σ_{a13}=	0,000	kN/m^2 o Kpa	0,000	Mpa	18,667	0,000	verificato
		1,50	0,004	0,000004	diagonali	asta 14=	16,540	kN	tesa	σ_{a14}=	4129,291	kN/m^2 o Kpa	4,129	Mpa	18,667	0,221	verificato
		1,50				asta 15=	4,640	kN	tesa	σ_{a15}=	1158,398	kN/m^2 o Kpa	1,158	Mpa	18,667	0,062	verificato
		1,50				asta 16=	4,640	kN	tesa	σ_{a16}=	1158,398	kN/m^2 o Kpa	1,158	Mpa	18,667	0,062	verificato
		1,50				asta 17=	16,540	kN	tesa	σ_{a17}=	4129,291	kN/m^2 o Kpa	4,129	Mpa	18,667	0,221	verificato
TR5		1,60	0,016	0,000004	correnti sup.	asta 1=	-42,200	kN	compressa	σ_{a1}=	-2633,858	kN/m^2 o Kpa	-2,634	Mpa	18,667	-0,141	verificato
		0,75				asta 2=	-42,200	kN	compressa	σ_{a2}=	-2633,858	kN/m^2 o Kpa	-2,634	Mpa	18,667	-0,141	verificato
		0,75				asta 3=	-42,200	kN	compressa	σ_{a3}=	-2633,858	kN/m^2 o Kpa	-2,634	Mpa	18,667	-0,141	verificato
		1,60				asta 4=	-42,200	kN	compressa	σ_{a4}=	-2633,858	kN/m^2 o Kpa	-2,634	Mpa	18,667	-0,141	verificato
		0,77	0,004	0,000004	montanti	asta 5=	-19,420	kN	compressa	σ_{a5}=	-4848,296	kN/m^2 o Kpa	-4,848	Mpa	18,667	-0,260	verificato
		0,77				asta 6=	-18,960	kN	compressa	σ_{a6}=	-4733,455	kN/m^2 o Kpa	-4,733	Mpa	18,667	-0,254	verificato
		0,77				asta 7=	-0,860	kN	compressa	σ_{a7}=	-214,703	kN/m^2 o Kpa	-0,215	Mpa	18,667	-0,012	verificato
		0,77				asta 8=	-18,960	kN	compressa	σ_{a8}=	-4733,455	kN/m^2 o Kpa	-4,733	Mpa	18,667	-0,254	verificato
		0,77				asta 9=	-19,420	kN	compressa	σ_{a9}=	-4848,296	kN/m^2 o Kpa	-4,848	Mpa	18,667	-0,260	verificato
		1,60	0,016	0,000004	correnti inf.	asta 10=	0,000	kN	compressa	σ_{a10}=	0,000	kN/m^2 o Kpa	0,000	Mpa	18,667	0,000	verificato
		0,75				asta 11=	-43,040	kN	compressa	σ_{a11}=	-2686,286	kN/m^2 o Kpa	-2,686	Mpa	18,667	-0,144	verificato
		0,75				asta 12=	-43,040	kN	compressa	σ_{a12}=	-2686,286	kN/m^2 o Kpa	-2,686	Mpa	18,667	-0,144	verificato
		1,60				asta 13=	0,000	kN	compressa	σ_{a13}=	0,000	kN/m^2 o Kpa	0,000	Mpa	18,667	0,000	verificato
		1,78	0,004	0,000004	diagonali	asta 14=	46,840	kN	tesa	σ_{a14}=	11693,831	kN/m^2 o Kpa	11,694	Mpa	18,667	0,626	verificato
		1,78				asta 15=	1,200	kN	tesa	σ_{a15}=	299,586	kN/m^2 o Kpa	0,300	Mpa	18,667	0,016	verificato
		1,78				asta 16=	1,200	kN	tesa	σ_{a16}=	299,586	kN/m^2 o Kpa	0,300	Mpa	18,667	0,016	verificato
		1,78				asta 17=	46,840	kN	tesa	σ_{a17}=	11693,831	kN/m^2 o Kpa	11,694	Mpa	18,667	0,626	verificato
TR9		1,60	0,016	0,000004	correnti sup.	asta 1=	-17,370	kN	compressa	σ_{a1}=	-1084,126	kN/m^2 o Kpa	-1,084	Mpa	18,667	-0,058	verificato
		0,75				asta 2=	-17,370	kN	compressa	σ_{a2}=	-1084,126	kN/m^2 o Kpa	-1,084	Mpa	18,667	-0,058	verificato
		0,75				asta 3=	-17,370	kN	compressa	σ_{a3}=	-1084,126	kN/m^2 o Kpa	-1,084	Mpa	18,667	-0,058	verificato
		1,60				asta 4=	-17,370	kN	compressa	σ_{a4}=	-1084,126	kN/m^2 o Kpa	-1,084	Mpa	18,667	-0,058	verificato
		0,77	0,004	0,000004	montanti	asta 5=	-8,180	kN	compressa	σ_{a5}=	-510,544	kN/m^2 o Kpa	-0,511	Mpa	18,667	-0,027	verificato
		0,77				asta 6=	-7,010	kN	compressa	σ_{a6}=	-437,520	kN/m^2 o Kpa	-0,438	Mpa	18,667	-0,023	verificato
		0,77				asta 7=	-0,860	kN	compressa	σ_{a7}=	-53,676	kN/m^2 o Kpa	-0,054	Mpa	18,667	-0,003	verificato
		0,77				asta 8=	-7,010	kN	compressa	σ_{a8}=	-437,520	kN/m^2 o Kpa	-0,438	Mpa	18,667	-0,023	verificato
		0,77				asta 9=	-8,180	kN	compressa	σ_{a9}=	-510,544	kN/m^2 o Kpa	-0,511	Mpa	18,667	-0,027	verificato
		1,60	0,016	0,000004	correnti inf.	asta 10=	0,000	kN	compressa	σ_{a10}=	0,000	kN/m^2 o Kpa	0,000	Mpa	18,667	0,000	verificato
		0,75				asta 11=	-18,210	kN	compressa	σ_{a11}=	-1136,554	kN/m^2 o Kpa	-1,137	Mpa	18,667	-0,061	verificato
		0,75				asta 12=	-18,210	kN	compressa	σ_{a12}=	-1136,554	kN/m^2 o Kpa	-1,137	Mpa	18,667	-0,061	verificato
		1,60				asta 13=	0,000	kN	compressa	σ_{a13}=	0,000	kN/m^2 o Kpa	0,000	Mpa	18,667	0,000	verificato
		1,78	0,004	0,000004	diagonali	asta 14=	19,280	kN	tesa	σ_{a14}=	4813,345	kN/m^2 o Kpa	4,813	Mpa	18,667	0,258	verificato
		1,78				asta 15=	1,200	kN	tesa	σ_{a15}=	299,586	kN/m^2 o Kpa	0,300	Mpa	18,667	0,016	verificato
		1,78				asta 16=	1,200	kN	tesa	σ_{a16}=	299,586	kN/m^2 o Kpa	0,300	Mpa	18,667	0,016	verificato
		1,78				asta 17=	19,280	kN	tesa	σ_{a17}=	4813,345	kN/m^2 o Kpa	4,813	Mpa	18,667	0,258	verificato

Geometria travi

Tr1 - Tr4



tr5 - tr6 - tr7 -tr8 -tr9

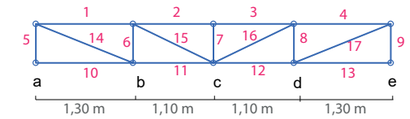


COMBINAZIONE CARICHI DEAD LOAD + LIVE LOAD + ROOF LIVE LOAD

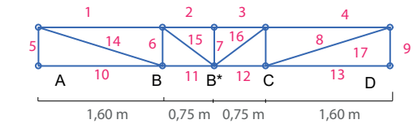
TR7		1,60	0,016	0,000004	correnti sup.	asta 1=	-6,550	kN	compressa	σ_{a1}=	-408,810	kN/m^2 o Kpa	-0,409	Mpa	18,667	-0,022	verificato
		0,75				asta 2=	-6,550	kN	compressa	σ_{a2}=	-408,810	kN/m^2 o Kpa	-0,409	Mpa	18,667	-0,022	verificato
		0,75				asta 3=	-6,550	kN	compressa	σ_{a3}=	-408,810	kN/m^2 o Kpa	-0,409	Mpa	18,667	-0,022	verificato
		1,60				asta 4=	-6,550	kN	compressa	σ_{a4}=	-408,810	kN/m^2 o Kpa	-0,409	Mpa	18,667	-0,022	verificato
		0,77	0,004	0,000004	montanti	asta 5=	-3,030	kN	compressa	σ_{a5}=	-756,454	kN/m^2 o Kpa	-0,756	Mpa	18,667	-0,041	verificato
		0,77				asta 6=	-1,990	kN	compressa	σ_{a6}=	-496,813	kN/m^2 o Kpa	-0,497	Mpa	18,667	-0,027	verificato
		0,77				asta 7=	-0,740	kN	compressa	σ_{a7}=	-184,745	kN/m^2 o Kpa	-0,185	Mpa	18,667	-0,010	verificato
		0,77				asta 8=	-1,990	kN	compressa	σ_{a8}=	-496,813	kN/m^2 o Kpa	-0,497	Mpa	18,667	-0,027	verificato
		0,77				asta 9=	-3,030	kN	compressa	σ_{a9}=	-756,454	kN/m^2 o Kpa	-0,756	Mpa	18,667	-0,041	verificato
		1,60	0,016	0,000004	correnti inf.	asta 10=	0,000	kN	compressa	σ_{a10}=	0,000	kN/m^2 o Kpa	0,000	Mpa	18,667	0,000	verificato
		0,75				asta 11=	-7,270	kN	compressa	σ_{a11}=	-453,748	kN/m^2 o Kpa	-0,454	Mpa	18,667	-0,024	verificato
		0,75				asta 12=	-7,270	kN	compressa	σ_{a12}=	-453,748	kN/m^2 o Kpa	-0,454	Mpa	18,667	-0,024	verificato
		1,60				asta 13=	0,000	kN	compressa	σ_{a13}=	0,000	kN/m^2 o Kpa	0,000	Mpa	18,667	0,000	verificato
		1,78	0,004	0,000004	diagonali	asta 14=	7,260	kN	tesa	σ_{a14}=	1812,494	kN/m^2 o Kpa	1,812	Mpa	18,667	0,097	verificato
		1,78				asta 15=	1,030	kN	tesa	σ_{a15}=	257,144	kN/m^2 o Kpa	0,257	Mpa	18,667	0,014	verificato
		1,78				asta 16=	1,030	kN	tesa	σ_{a16}=	257,144	kN/m^2 o Kpa	0,257	Mpa	18,667	0,014	verificato
		1,78				asta 17=	7,260	kN	tesa	σ_{a17}=	1812,494	kN/m^2 o Kpa	1,812	Mpa	18,667	0,097	verificato
TR6		1,60	0,016	0,000004	correnti sup.	asta 1=	-7,110	kN	compressa	σ_{a1}=	-443,761	kN/m^2 o Kpa	-0,444	Mpa	18,667	-0,024	verificato
		0,75				asta 2=	-7,110	kN	compressa	σ_{a2}=	-443,761	kN/m^2 o Kpa	-0,444	Mpa	18,667	-0,024	verificato
		0,75				asta 3=	-7,110	kN	compressa	σ_{a3}=	-443,761	kN/m^2 o Kpa	-0,444	Mpa	18,667	-0,024	verificato
		1,60				asta 4=	-7,110	kN	compressa	σ_{a4}=	-443,761	kN/m^2 o Kpa	-0,444	Mpa	18,667	-0,024	verificato
		0,77	0,004	0,000004	montanti	asta 5=	-3,260	kN	compressa	σ_{a5}=	-813,875	kN/m^2 o Kpa	-0,814	Mpa	18,667	-0,044	verificato
		0,77				asta 6=	-2,160	kN	compressa	σ_{a6}=	-539,254	kN/m^2 o Kpa	-0,539	Mpa	18,667	-0,029	verificato
		0,77				asta 7=	-0,800	kN	compressa	σ_{a7}=	-199,724	kN/m^2 o Kpa	-0,200	Mpa	18,667	-0,011	verificato
		0,77				asta 8=	-2,160	kN	compressa	σ_{a8}=	-539,254	kN/m^2 o Kpa	-0,539	Mpa	18,667	-0,029	verificato
		0,77				asta 9=	-3,260	kN	compressa	σ_{a9}=	-813,875	kN/m^2 o Kpa	-0,814	Mpa	18,667	-0,044	verificato
		1,60	0,016	0,000004	correnti inf.	asta 10=	0,000	kN	compressa	σ_{a10}=	0,000	kN/m^2 o Kpa	0,000	Mpa	18,667	0,000	verificato
		0,75				asta 11=	-7,890	kN	compressa	σ_{a11}=	-492,444	kN/m^2 o Kpa	-0,492	Mpa	18,667	-0,026	verificato
		0,75				asta 12=	-7,890	kN	compressa	σ_{a12}=	-492,444	kN/m^2 o Kpa	-0,492	Mpa	18,667	-0,026	verificato
		1,60				asta 13=	0,000	kN	compressa	σ_{a13}=	0,000	kN/m^2 o Kpa	0,000	Mpa	18,667	0,000	verificato
		1,78	0,004	0,000004	diagonali	asta 14=	7,890	kN	tesa	σ_{a14}=	1969,776	kN/m^2 o Kpa	1,970	Mpa	18,667	0,106	verificato
		1,78				asta 15=	1,120	kN	tesa	σ_{a15}=	279,613	kN/m^2 o Kpa	0,280	Mpa	18,667	0,015	verificato
		1,78				asta 16=	1,120	kN	tesa	σ_{a16}=	279,613	kN/m^2 o Kpa	0,280	Mpa	18,667	0,015	verificato
		1,78				asta 17=	7,890	kN	tesa	σ_{a17}=	1969,776	kN/m^2 o Kpa	1,970	Mpa	18,667	0,106	verificato
TR8		1,60	7645,938	0,000004	correnti sup.	asta 1=	-36,590	kN	compressa	σ_{a1}=	-2283,717	kN/m^2 o Kpa	-2,284	Mpa	18,667	-0,122	verificato
		0,75				asta 2=	-37,590	kN	compressa	σ_{a2}=	-2346,131	kN/m^2 o Kpa	-2,346	Mpa	18,667	-0,126	verificato
		0,75				asta 3=	-37,590	kN	compressa	σ_{a3}=	-2346,131	kN/m^2 o Kpa	-2,346	Mpa	18,667	-0,126	verificato
		1,60				asta 4=	-36,590	kN	compressa	σ_{a4}=	-2283,717	kN/m^2 o Kpa	-2,284	Mpa	18,667	-0,122	verificato
		0,77	1911,485	0,000004	montanti	asta 5=	-16,340	kN	compressa	σ_{a5}=	-4079,360	kN/m^2 o Kpa	-4,079	Mpa	18,667	-0,219	verificato
		0,77				asta 6=	-16,010	kN	compressa	σ_{a6}=	-3996,974	kN/m^2 o Kpa	-3,997	Mpa	18,667	-0,214	verificato
		0,77				asta 7=	-1,020	kN	compressa	σ_{a7}=	-254,648	kN/m^2 o Kpa	-0,255	Mpa	18,667	-0,014	verificato
		0,77				asta 8=	-16,010	kN	compressa	σ_{a8}=	-3996,974	kN/m^2 o Kpa	-3,997	Mpa	18,667	-0,214	verificato
		0,77				asta 9=	-16,340	kN	compressa	σ_{a9}=	-4079,360	kN/m^2 o Kpa	-4,079	Mpa	18,667	-0,219	verificato
		1,60	7645,938	0,000004	correnti inf.	asta 10=	0,000	kN	compressa	σ_{a10}=	0,000	kN/m^2 o Kpa	0,000	Mpa	18,667	0,000	verificato
		0,75				asta 11=	36,590	kN	tesa	σ_{a11}=	2283,717	kN/m^2 o Kpa	2,284	Mpa	18,667	0,122	verificato
		0,75				asta 12=	36,590	kN	tesa	σ_{a12}=	2283,717	kN/m^2 o Kpa	2,284	Mpa	18,667	0,122	verificato
		1,60				asta 13=	0,000	kN	compressa	σ_{a13}=	0,000	kN/m^2 o Kpa	0,000	Mpa	18,667	0,000	verificato
		1,78	1911,485	0,000004	diagonali	asta 14=	40,610	kN	tesa	σ_{a14}=	10138,482	kN/m^2 o Kpa	10,138	Mpa	18,667	0,543	verificato
		1,78				asta 15=	1,420	kN	tesa	σ_{a15}=	354,510	kN/m^2 o Kpa	0,355	Mpa	18,667	0,019	verificato
		1,78				asta 16=	1,420	kN	tesa	σ_{a16}=	354,510	kN/m^2 o Kpa	0,355	Mpa	18,667	0,019	verificato
		1,78				asta 17=	40,610	kN	tesa	σ_{a17}=	10138,482	kN/m^2 o Kpa	10,138	Mpa	18,667	0,543	verificato

Geometria travi

Tr1 - Tr4



tr5 - tr6 - tr7 -tr8 -tr9



COMBINAZIONE CARICHI DEAD LOAD + LIVE LOAD + ROOF LIVE LOAD

PILASTRI	Sezione elemento	Lunghezza (m)	Area della corona circolare	Momento d'inerzia (m^4)	Sforzo normale		Tensione normale σ				valore amm. (Mpa)	verifica	
1		4,8	0,012	0,000004	1,332	kN	110,814	kN/m^2 o Kpa	0,111	Mpa	18,667	0,006	verificato
2		4,8			13,866	kN	1153,911	kN/m^2 o Kpa	1,154	Mpa	18,667	0,062	verificato
3		4,8			13,866	kN	1153,911	kN/m^2 o Kpa	1,154	Mpa	18,667	0,062	verificato
4		4,8			1,332	kN	110,814	kN/m^2 o Kpa	0,111	Mpa	18,667	0,006	verificato
5		4,8			1,463	kN	121,759	kN/m^2 o Kpa	0,122	Mpa	18,667	0,007	verificato
6		4,8			1,373	kN	114,279	kN/m^2 o Kpa	0,114	Mpa	18,667	0,006	verificato
7		4,8			1,463	kN	121,759	kN/m^2 o Kpa	0,122	Mpa	18,667	0,007	verificato
8		4,8			1,282	kN	106,726	kN/m^2 o Kpa	0,107	Mpa	18,667	0,006	verificato
9		4,8			0,736	kN	61,255	kN/m^2 o Kpa	0,061	Mpa	18,667	0,003	verificato
10		4,8			0,736	kN	61,255	kN/m^2 o Kpa	0,061	Mpa	18,667	0,003	verificato
11		4,8			1,282	kN	106,726	kN/m^2 o Kpa	0,107	Mpa	18,667	0,006	verificato
12		4,8			1,463	kN	121,759	kN/m^2 o Kpa	0,122	Mpa	18,667	0,007	verificato
13		4,8			1,373	kN	114,279	kN/m^2 o Kpa	0,114	Mpa	18,667	0,006	verificato
14		4,8			1,463	kN	121,759	kN/m^2 o Kpa	0,122	Mpa	18,667	0,007	verificato
15		4,8			13,336	kN	1109,805	kN/m^2 o Kpa	1,110	Mpa	18,667	0,059	verificato
16		4,8			13,336	kN	1109,805	kN/m^2 o Kpa	1,110	Mpa	18,667	0,059	verificato
Puntone 1		3,75	0,008	0,000004	0,252	kN	31,423	kN/m^2 o Kpa	0,031	Mpa	18,667	0,002	verificato
Puntone 2		3,75			-0,865	kN	-108,031	kN/m^2 o Kpa	-0,108	Mpa	18,667	-0,006	verificato
Puntone 3		3,75			-0,865	kN	-108,031	kN/m^2 o Kpa	-0,108	Mpa	18,667	-0,006	verificato
Puntone 4		3,75			0,252	kN	31,423	kN/m^2 o Kpa	0,031	Mpa	18,667	0,002	verificato

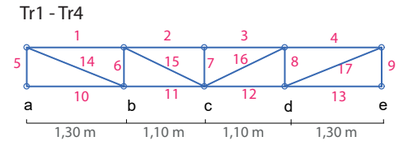
COMBINAZIONE CARICHI DEAD LOAD + WIND + LIVE LOAD

TRAVI COPERTURA	sezione elemento	Lunghezza (proiezione su piano orizz.) (m)	Area della corona circolare	Momento d'inerzia (m^4)	Taglio max		Momento flettente max		Tensione normale σ				tens. amm. (Mpa)		verifica		tensione tangenziale τ				tens. amm. (Mpa)*1,33	verifica	
T1		5,10			0,049	kN	0,012	kNm	82,321	kN/m2 o Kpa	0,082	MPa	24,667	Mpa	0,003	verificato	6,133	kN/m2	0,006	Mpa	1,906	0,003	verificato
T2		5,10			-3,190	kN	3,370	kNm	22586,221	kN/m2 o Kpa	22,586	MPa	24,667	Mpa	0,916	verificato	-398,238	kN/m2	-0,398	Mpa	1,906	-0,209	verificato
T3		5,10			-3,190	kN	3,370	kNm	22586,221	kN/m2 o Kpa	22,586	MPa	24,667	Mpa	0,916	verificato	-398,238	kN/m2	-0,398	Mpa	1,906	-0,209	verificato
T4		5,10	0,008	0,000004	0,049	kN	0,012	kNm	82,321	kN/m2 o Kpa	0,082	MPa	24,667	Mpa	0,003	verificato	6,133	kN/m2	0,006	Mpa	1,906	0,003	verificato
t5		5,00			-2,762	kN	-1,105	kNm	-14807,960	kN/m2 o Kpa	-14,808	MPa	24,667	Mpa	-0,600	verificato	-691,085	kN/m2	-0,691	Mpa	1,906	-0,363	verificato
t6		5,00			-2,768	kN	-1,107	kNm	-14842,084	kN/m2 o Kpa	-14,842	MPa	24,667	Mpa	-0,602	verificato	-691,085	kN/m2	-0,691	Mpa	1,906	-0,363	verificato
t7		5,00			-2,534	kN	-1,014	kNm	-13588,063	kN/m2 o Kpa	-13,588	MPa	24,667	Mpa	-0,551	verificato	-632,694	kN/m2	-0,633	Mpa	1,906	-0,332	verificato
t8		5,00			-2,768	kN	-1,107	kNm	-14842,084	kN/m2 o Kpa	-14,842	MPa	24,667	Mpa	-0,602	verificato	-691,085	kN/m2	-0,691	Mpa	1,906	-0,363	verificato
t9		5,00	0,008	0,000004	-1,482	kN	-0,593	kNm	-7944,966	kN/m2 o Kpa	-7,945	MPa	24,667	Mpa	-0,322	verificato	-691,085	kN/m2	-0,691	Mpa	1,906	-0,363	verificato
tk		5,00	0,004	0,000004	-1,261	kN	-0,504	kNm	-6759,907	kN/m2 o Kpa	-6,760	MPa	24,667	Mpa	-0,274	verificato	-314,758	kN/m3	-0,315	Mpa	1,906	-0,165	verificato

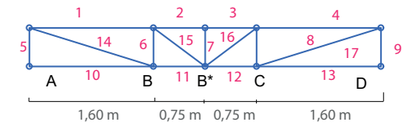
TRAVI RETICOLARI	sezione elemento	Lunghezza (m)	Area della corona circolare	Momento d'inerzia	elemento		Sforzo normale			Tensione normale σ				tens. amm. (Mpa)	verifica	
Tr1=Tr4		1,30	0,008	0,000004	correnti sup.	asta 1=	-14,280	kN	compressa	σ_{a1}=	-1782,535	kN/m² o Kpa	-1,783	Mpa	18,667	-0,095	verificato
		1,10				asta 2=	-18,100	kN	compressa	σ_{a2}=	-2259,376	kN/m² o Kpa	-2,259	Mpa	18,667	-0,121	verificato
		1,10				asta 3=	-18,100	kN	compressa	σ_{a3}=	-2259,376	kN/m² o Kpa	-2,259	Mpa	18,667	-0,121	verificato
		1,30				asta 4=	-14,280	kN	compressa	σ_{a4}=	-1782,535	kN/m² o Kpa	-1,783	Mpa	18,667	-0,095	verificato
		0,76	0,004	0,000004	montanti	asta 5=	-29,210	kN	compressa	σ_{a5}=	-7292,417	kN/m² o Kpa	-7,292	Mpa	18,667	-0,391	verificato
		0,76				asta 6=	-7,560	kN	compressa	σ_{a6}=	-1887,390	kN/m² o Kpa	-1,887	Mpa	18,667	-0,101	verificato
		0,76				asta 7=	-4,560	kN	compressa	σ_{a7}=	-1138,426	kN/m² o Kpa	-1,138	Mpa	18,667	-0,061	verificato
		0,76				asta 8=	-7,560	kN	compressa	σ_{a8}=	-1887,390	kN/m² o Kpa	-1,887	Mpa	18,667	-0,101	verificato
		0,76				asta 9=	-18,080	kN	compressa	σ_{a9}=	-4513,759	kN/m² o Kpa	-4,514	Mpa	18,667	-0,242	verificato
		1,30	0,008	0,000004	correnti inf.	asta 10=	0,000	kN	compressa	σ_{a10}=	0,000	kN/m² o Kpa	0,000	Mpa	18,667	0,000	verificato
		1,10				asta 11=	14,280	kN	tesa	σ_{a11}=	1782,535	kN/m² o Kpa	1,783	Mpa	18,667	0,095	verificato
		1,10				asta 12=	14,280	kN	tesa	σ_{a12}=	1782,535	kN/m² o Kpa	1,783	Mpa	18,667	0,095	verificato
		1,30				asta 13=	0,000	kN	compressa	σ_{a13}=	0,000	kN/m² o Kpa	0,000	Mpa	18,667	0,000	verificato
		1,50	0,004	0,000004	diagonali	asta 14=	16,540	kN	tesa	σ_{a14}=	4129,291	kN/m² o Kpa	4,129	Mpa	18,667	0,221	verificato
		1,50				asta 15=	4,640	kN	tesa	σ_{a15}=	1158,398	kN/m² o Kpa	1,158	Mpa	18,667	0,062	verificato
		1,50				asta 16=	4,640	kN	tesa	σ_{a16}=	1158,398	kN/m² o Kpa	1,158	Mpa	18,667	0,062	verificato
		1,50				asta 17=	16,540	kN	tesa	σ_{a17}=	4129,291	kN/m² o Kpa	4,129	Mpa	18,667	0,221	verificato
TR5		1,60	0,016	0,000004	correnti sup.	asta 1=	-42,200	kN	compressa	σ_{a1}=	-2633,858	kN/m² o Kpa	-2,634	Mpa	18,667	-0,141	verificato
		0,75				asta 2=	-42,200	kN	compressa	σ_{a2}=	-2633,858	kN/m² o Kpa	-2,634	Mpa	18,667	-0,141	verificato
		0,75				asta 3=	-42,200	kN	compressa	σ_{a3}=	-2633,858	kN/m² o Kpa	-2,634	Mpa	18,667	-0,141	verificato
		1,60				asta 4=	-42,200	kN	compressa	σ_{a4}=	-2633,858	kN/m² o Kpa	-2,634	Mpa	18,667	-0,141	verificato
		0,77	0,004	0,000004	montanti	asta 5=	-19,420	kN	compressa	σ_{a5}=	-4848,296	kN/m² o Kpa	-4,848	Mpa	18,667	-0,260	verificato
		0,77				asta 6=	-18,960	kN	compressa	σ_{a6}=	-4733,455	kN/m² o Kpa	-4,733	Mpa	18,667	-0,254	verificato
		0,77				asta 7=	-0,860	kN	compressa	σ_{a7}=	-214,703	kN/m² o Kpa	-0,215	Mpa	18,667	-0,012	verificato
		0,77				asta 8=	-18,960	kN	compressa	σ_{a8}=	-4733,455	kN/m² o Kpa	-4,733	Mpa	18,667	-0,254	verificato
		0,77				asta 9=	-19,420	kN	compressa	σ_{a9}=	-4848,296	kN/m² o Kpa	-4,848	Mpa	18,667	-0,260	verificato
		1,60	0,016	0,000004	correnti inf.	asta 10=	0,000	kN	compressa	σ_{a10}=	0,000	kN/m² o Kpa	0,000	Mpa	18,667	0,000	verificato
		0,75				asta 11=	-43,040	kN	compressa	σ_{a11}=	-2686,286	kN/m² o Kpa	-2,686	Mpa	18,667	-0,144	verificato
		0,75				asta 12=	-43,040	kN	compressa	σ_{a12}=	-2686,286	kN/m² o Kpa	-2,686	Mpa	18,667	-0,144	verificato
		1,60				asta 13=	0,000	kN	compressa	σ_{a13}=	0,000	kN/m² o Kpa	0,000	Mpa	18,667	0,000	verificato
		1,78	0,004	0,000004	diagonali	asta 14=	46,840	kN	tesa	σ_{a14}=	11693,831	kN/m² o Kpa	11,694	Mpa	18,667	0,626	verificato
		1,78				asta 15=	1,200	kN	tesa	σ_{a15}=	299,586	kN/m² o Kpa	0,300	Mpa	18,667	0,016	verificato
		1,78				asta 16=	1,200	kN	tesa	σ_{a16}=	299,586	kN/m² o Kpa	0,300	Mpa	18,667	0,016	verificato
		1,78				asta 17=	46,840	kN	tesa	σ_{a17}=	11693,831	kN/m² o Kpa	11,694	Mpa	18,667	0,626	verificato
TR9		1,60	0,016	0,000004	correnti sup.	asta 1=	-17,370	kN	compressa	σ_{a1}=	-1084,126	kN/m² o Kpa	-1,084	Mpa	18,667	-0,058	verificato
		0,75				asta 2=	-17,370	kN	compressa	σ_{a2}=	-1084,126	kN/m² o Kpa	-1,084	Mpa	18,667	-0,058	verificato
		0,75				asta 3=	-17,370	kN	compressa	σ_{a3}=	-1084,126	kN/m² o Kpa	-1,084	Mpa	18,667	-0,058	verificato
		1,60				asta 4=	-17,370	kN	compressa	σ_{a4}=	-1084,126	kN/m² o Kpa	-1,084	Mpa	18,667	-0,058	verificato
		0,77	0,004	0,000004	montanti	asta 5=	-8,180	kN	compressa	σ_{a5}=	-510,544	kN/m² o Kpa	-0,511	Mpa	18,667	-0,027	verificato
		0,77				asta 6=	-7,010	kN	compressa	σ_{a6}=	-437,520	kN/m² o Kpa	-0,438	Mpa	18,667	-0,023	verificato
		0,77				asta 7=	-0,860	kN	compressa	σ_{a7}=	-53,676	kN/m² o Kpa	-0,054	Mpa	18,667	-0,003	verificato
		0,77				asta 8=	-7,010	kN	compressa	σ_{a8}=	-437,520	kN/m² o Kpa	-0,438	Mpa	18,667	-0,023	verificato
		0,77				asta 9=	-8,180	kN	compressa	σ_{a9}=	-510,544	kN/m² o Kpa	-0,511	Mpa	18,667	-0,027	verificato
		1,60	0,016	0,000004	correnti inf.	asta 10=	0,000	kN	compressa	σ_{a10}=	0,000	kN/m² o Kpa	0,000	Mpa	18,667	0,000	verificato
		0,75				asta 11=	-18,210	kN	compressa	σ_{a11}=	-1136,554	kN/m² o Kpa	-1,137	Mpa	18,667	-0,061	verificato
		0,75				asta 12=	-18,210	kN	compressa	σ_{a12}=	-1136,554	kN/m² o Kpa	-1,137	Mpa	18,667	-0,061	verificato
		1,60				asta 13=	0,000	kN	compressa	σ_{a13}=	0,000	kN/m² o Kpa	0,000	Mpa	18,667	0,000	verificato
		1,78	0,004	0,000004	diagonali	asta 14=	19,280	kN	tesa	σ_{a14}=	4813,345	kN/m² o Kpa	4,813	Mpa	18,667	0,258	verificato
		1,78				asta 15=	1,200	kN	tesa	σ_{a15}=	299,586	kN/m² o Kpa	0,300	Mpa	18,667	0,016	verificato
		1,78				asta 16=	1,200	kN	tesa	σ_{a16}=	299,586	kN/m² o Kpa	0,300	Mpa	18,667	0,016	verificato
		1,78				asta 17=	19,280	kN	tesa	σ_{a17}=	4813,345	kN/m² o Kpa	4,813	Mpa	18,667	0,258	verificato

Geometria travi

Tr1 - Tr4



tr5 - tr6 - tr7 -tr8 -tr9

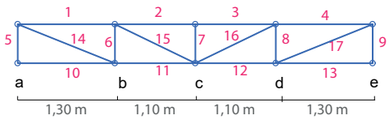


COMBINAZIONE CARICHI DEAD LOAD + WIND + LIVE LOAD

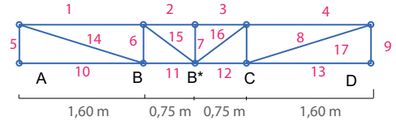
TR7		1,60	0,016	0,000004	correnti sup.	asta 1=	-6,550	kN	compressa	σ_{a1}=	-408,810	kN/m² o Kpa	-0,409	Mpa	18,667	-0,022	verificato
		0,75				asta 2=	-6,550	kN	compressa	σ_{a2}=	-408,810	kN/m² o Kpa	-0,409	Mpa	18,667	-0,022	verificato
		0,75				asta 3=	-6,550	kN	compressa	σ_{a3}=	-408,810	kN/m² o Kpa	-0,409	Mpa	18,667	-0,022	verificato
		1,60				asta 4=	-6,550	kN	compressa	σ_{a4}=	-408,810	kN/m² o Kpa	-0,409	Mpa	18,667	-0,022	verificato
		0,77	0,004	0,000004	montanti	asta 5=	-3,030	kN	compressa	σ_{a5}=	-756,454	kN/m² o Kpa	-0,756	Mpa	18,667	-0,041	verificato
		0,77				asta 6=	-1,990	kN	compressa	σ_{a6}=	-496,813	kN/m² o Kpa	-0,497	Mpa	18,667	-0,027	verificato
		0,77				asta 7=	-0,740	kN	compressa	σ_{a7}=	-184,745	kN/m² o Kpa	-0,185	Mpa	18,667	-0,010	verificato
		0,77				asta 8=	-1,990	kN	compressa	σ_{a8}=	-496,813	kN/m² o Kpa	-0,497	Mpa	18,667	-0,027	verificato
		0,77				asta 9=	-3,030	kN	compressa	σ_{a9}=	-756,454	kN/m² o Kpa	-0,756	Mpa	18,667	-0,041	verificato
		1,60	0,016	0,000004	correnti inf.	asta 10=	0,000	kN	compressa	σ_{a10}=	0,000	kN/m² o Kpa	0,000	Mpa	18,667	0,000	verificato
		0,75				asta 11=	-7,270	kN	compressa	σ_{a11}=	-453,748	kN/m² o Kpa	-0,454	Mpa	18,667	-0,024	verificato
		0,75				asta 12=	-7,270	kN	compressa	σ_{a12}=	-453,748	kN/m² o Kpa	-0,454	Mpa	18,667	-0,024	verificato
		1,60				asta 13=	0,000	kN	compressa	σ_{a13}=	0,000	kN/m² o Kpa	0,000	Mpa	18,667	0,000	verificato
		1,78	0,004	0,000004	diagonali	asta 14=	7,260	kN	tesa	σ_{a14}=	1812,494	kN/m² o Kpa	1,812	Mpa	18,667	0,097	verificato
		1,78				asta 15=	1,030	kN	tesa	σ_{a15}=	257,144	kN/m² o Kpa	0,257	Mpa	18,667	0,014	verificato
		1,78				asta 16=	1,030	kN	tesa	σ_{a16}=	257,144	kN/m² o Kpa	0,257	Mpa	18,667	0,014	verificato
		1,78				asta 17=	7,260	kN	tesa	σ_{a17}=	1812,494	kN/m² o Kpa	1,812	Mpa	18,667	0,097	verificato
TR6		1,60	0,016	0,000004	correnti sup.	asta 1=	-7,110	kN	compressa	σ_{a1}=	-443,761	kN/m² o Kpa	-0,444	Mpa	18,667	-0,024	verificato
		0,75				asta 2=	-7,110	kN	compressa	σ_{a2}=	-443,761	kN/m² o Kpa	-0,444	Mpa	18,667	-0,024	verificato
		0,75				asta 3=	-7,110	kN	compressa	σ_{a3}=	-443,761	kN/m² o Kpa	-0,444	Mpa	18,667	-0,024	verificato
		1,60				asta 4=	-7,110	kN	compressa	σ_{a4}=	-443,761	kN/m² o Kpa	-0,444	Mpa	18,667	-0,024	verificato
		0,77	0,004	0,000004	montanti	asta 5=	-3,260	kN	compressa	σ_{a5}=	-813,875	kN/m² o Kpa	-0,814	Mpa	18,667	-0,044	verificato
		0,77				asta 6=	-2,160	kN	compressa	σ_{a6}=	-539,254	kN/m² o Kpa	-0,539	Mpa	18,667	-0,029	verificato
		0,77				asta 7=	-0,800	kN	compressa	σ_{a7}=	-199,724	kN/m² o Kpa	-0,200	Mpa	18,667	-0,011	verificato
		0,77				asta 8=	-2,160	kN	compressa	σ_{a8}=	-539,254	kN/m² o Kpa	-0,539	Mpa	18,667	-0,029	verificato
		0,77				asta 9=	-3,260	kN	compressa	σ_{a9}=	-813,875	kN/m² o Kpa	-0,814	Mpa	18,667	-0,044	verificato
		1,60	0,016	0,000004	correnti inf.	asta 10=	0,000	kN	compressa	σ_{a10}=	0,000	kN/m² o Kpa	0,000	Mpa	18,667	0,000	verificato
		0,75				asta 11=	-7,890	kN	compressa	σ_{a11}=	-492,444	kN/m² o Kpa	-0,492	Mpa	18,667	-0,026	verificato
		0,75				asta 12=	-7,890	kN	compressa	σ_{a12}=	-492,444	kN/m² o Kpa	-0,492	Mpa	18,667	-0,026	verificato
		1,60				asta 13=	0,000	kN	compressa	σ_{a13}=	0,000	kN/m² o Kpa	0,000	Mpa	18,667	0,000	verificato
		1,78	0,004	0,000004	diagonali	asta 14=	7,890	kN	tesa	σ_{a14}=	1969,776	kN/m² o Kpa	1,970	Mpa	18,667	0,106	verificato
		1,78				asta 15=	1,120	kN	tesa	σ_{a15}=	279,613	kN/m² o Kpa	0,280	Mpa	18,667	0,015	verificato
		1,78				asta 16=	1,120	kN	tesa	σ_{a16}=	279,613	kN/m² o Kpa	0,280	Mpa	18,667	0,015	verificato
		1,78				asta 17=	7,890	kN	tesa	σ_{a17}=	1969,776	kN/m² o Kpa	1,970	Mpa	18,667	0,106	verificato
TR8		1,60	7645,938	0,000004	correnti sup.	asta 1=	-36,590	kN	compressa	σ_{a1}=	-2283,717	kN/m² o Kpa	-2,284	Mpa	18,667	-0,122	verificato
		0,75				asta 2=	-37,590	kN	compressa	σ_{a2}=	-2346,131	kN/m² o Kpa	-2,346	Mpa	18,667	-0,126	verificato
		0,75				asta 3=	-37,590	kN	compressa	σ_{a3}=	-2346,131	kN/m² o Kpa	-2,346	Mpa	18,667	-0,126	verificato
		1,60				asta 4=	-36,590	kN	compressa	σ_{a4}=	-2283,717	kN/m² o Kpa	-2,284	Mpa	18,667	-0,122	verificato
		0,77	1911,485	0,000004	montanti	asta 5=	-16,340	kN	compressa	σ_{a5}=	-4079,360	kN/m² o Kpa	-4,079	Mpa	18,667	-0,219	verificato
		0,77				asta 6=	-16,010	kN	compressa	σ_{a6}=	-3996,974	kN/m² o Kpa	-3,997	Mpa	18,667	-0,214	verificato
		0,77				asta 7=	-1,020	kN	compressa	σ_{a7}=	-254,648	kN/m² o Kpa	-0,255	Mpa	18,667	-0,014	verificato
		0,77				asta 8=	-16,010	kN	compressa	σ_{a8}=	-3996,974	kN/m² o Kpa	-3,997	Mpa	18,667	-0,214	verificato
		0,77				asta 9=	-16,340	kN	compressa	σ_{a9}=	-4079,360	kN/m² o Kpa	-4,079	Mpa	18,667	-0,219	verificato
		1,60	7645,938	0,000004	correnti inf.	asta 10=	0,000	kN	compressa	σ_{a10}=	0,000	kN/m² o Kpa	0,000	Mpa	18,667	0,000	verificato
		0,75				asta 11=	36,590	kN	tesa	σ_{a11}=	2283,717	kN/m² o Kpa	2,284	Mpa	18,667	0,122	verificato
		0,75				asta 12=	36,590	kN	tesa	σ_{a12}=	2283,717	kN/m² o Kpa	2,284	Mpa	18,667	0,122	verificato
		1,60				asta 13=	0,000	kN	compressa	σ_{a13}=	0,000	kN/m² o Kpa	0,000	Mpa	18,667	0,000	verificato
		1,78	1911,485	0,000004	diagonali	asta 14=	40,610	kN	tesa	σ_{a14}=	10138,482	kN/m² o Kpa	10,138	Mpa	18,667	0,543	verificato
		1,78				asta 15=	1,420	kN	tesa	σ_{a15}=	354,510	kN/m² o Kpa	0,355	Mpa	18,667	0,019	verificato
		1,78				asta 16=	1,420	kN	tesa	σ_{a16}=	354,510	kN/m² o Kpa	0,355	Mpa	18,667	0,019	verificato
		1,78				asta 17=	40,610	kN	tesa	σ_{a17}=	10138,482	kN/m² o Kpa	10,138	Mpa	18,667	0,543	verificato

Geometria travi

Tr1 - Tr4



tr5 - tr6 - tr7 -tr8 -tr9



COMBINAZIONE CARICHI DEAD LOAD + WIND + LIVE LOAD

PILASTRI	Sezione elemento	Lunghezza (m)	Area della corona circolare	Momento d'inerzia (m^4)	Sforzo normale		Tensione normale σ				valore amm. (Mpa)	verifica	
1		4,8	0,012	0,000004	-2,334	kN	-194,224	kN/m^2 o Kpa	-0,194	Mpa	18,667	-0,010	verificato
2		4,8			13,866	kN	1153,911	kN/m^2 o Kpa	1,154	Mpa	18,667	0,062	verificato
3		4,8			13,866	kN	1153,911	kN/m^2 o Kpa	1,154	Mpa	18,667	0,062	verificato
4		4,8			-2,334	kN	-194,224	kN/m^2 o Kpa	-0,194	Mpa	18,667	-0,010	verificato
5		4,8			-2,362	kN	-196,542	kN/m^2 o Kpa	-0,197	Mpa	18,667	-0,011	verificato
6		4,8			-2,133	kN	-177,497	kN/m^2 o Kpa	-0,177	Mpa	18,667	-0,010	verificato
7		4,8			-2,362	kN	-196,542	kN/m^2 o Kpa	-0,197	Mpa	18,667	-0,011	verificato
8		4,8			-2,383	kN	-198,313	kN/m^2 o Kpa	-0,198	Mpa	18,667	-0,011	verificato
9		4,8			0,736	kN	61,255	kN/m^2 o Kpa	0,061	Mpa	18,667	0,003	verificato
10		4,8			0,736	kN	61,255	kN/m^2 o Kpa	0,061	Mpa	18,667	0,003	verificato
11		4,8			-2,383	kN	-198,313	kN/m^2 o Kpa	-0,198	Mpa	18,667	-0,011	verificato
12		4,8			-2,362	kN	-196,542	kN/m^2 o Kpa	-0,197	Mpa	18,667	-0,011	verificato
13		4,8			-2,133	kN	-177,497	kN/m^2 o Kpa	-0,177	Mpa	18,667	-0,010	verificato
14		4,8			-2,362	kN	-196,542	kN/m^2 o Kpa	-0,197	Mpa	18,667	-0,011	verificato
15		4,8			13,336	kN	1109,805	kN/m^2 o Kpa	1,110	Mpa	18,667	0,059	verificato
16		4,8			13,336	kN	1109,805	kN/m^2 o Kpa	1,110	Mpa	18,667	0,059	verificato
Puntone 1		3,75	0,008	0,000004	-1,087	kN	-135,657	kN/m^2 o Kpa	-0,136	Mpa	18,667	-0,007	verificato
Puntone 2		3,75			-0,865	kN	-108,031	kN/m^2 o Kpa	-0,108	Mpa	18,667	-0,006	verificato
Puntone 3		3,75			-0,865	kN	-108,031	kN/m^2 o Kpa	-0,108	Mpa	18,667	-0,006	verificato
Puntone 4		3,75			-1,087	kN	-135,657	kN/m^2 o Kpa	-0,136	Mpa	18,667	-0,007	verificato

6. CONCLUSIONI

Per quanto concerne la categorizzazione teorica lo Shelter proposto si prefigura al momento come soluzione ibrida, poiché presenta caratteristiche riconducibili sia alla Core House che al Transitional Shelter.
Esso è definibile Core House per diverse motivazioni. In primis l'abitazione nasce come modulo di 25 mq, incrementabile all'evolvere delle esigenze e possibilità del nucleo familiare. Essa è dotata inoltre di servizi igienici ed è autosufficiente sul piano energetico.
Esso è definibile Transitional perchè potrebbe essere migliorato attraverso l'inserimento di strati atti a garantire una migliore impermeabilizzazione dell'involucro e un maggiore isolamento termico in copertura, oltre alla possibile introduzione di un soppalco per garantire maggior privacy alla zona notte.
Se paragonato agli altri Transitional Shelters precedentemente citati il principale limite del progetto riguarda il piano della movibilitá e trasportabilità. Come dichiarato nelle *Transitional Shelter Guidelines* redatte da Shelter Center il Transitional Shelter deve essere *relocatable*, ovvero realizzabile in aree ove il possesso della terra è temporaneo o incerto per poi essere smontato e ricostruito nella sua collocazione definitiva.
Il sistema di galleggiamento, composto dalla piastra di reticolari e dalle guide di scorrimento verticale, nonché le fondazioni su cui esso poggia, sono elementi fondamentali per assicurare una risposta adeguata al presentarsi di fenomeni catastrofici e non sono perciò sacrificabili. L'eventuale smontaggio e rimontaggio del sistema appare particolarmente oneroso, sia per le dimensioni e il peso proprio degli elementi, sia per il costo del trasporto e manodopera. Inoltre, sebbene questo sistema tecnologico sia studiato per essere realizzato in un contesto di scarsità, è contraddistinto da un livello di complessità elevato, motivo per cui si ritiene più verosimile la sua costruzione nel sito definitivo.
Un'ulteriore riflessione riguarda i tempi di realizzazione e le modalità di *community-involvement*. Da questo punto di vista si ritiene fondamentale il coinvolgimento della popolazione nella fase di realizzazione così come nelle successive fasi di implementazione e manutenzione, nell'ottica di ridurre il periodo di permanenza in una soluzione abitativa d'emergenza, favorire la coesione sociale e fornire alla popolazione conoscenze e strumenti adeguati per il *self-maintenance* e il *self-management*.
In conclusione vi sono aspetti del progetto che devono essere maggiormente studiati e approfonditi per permettere una più chiara categorizzazione.

Sul piano tecnologico è fondamentale approfondire il potenziale deterioramento del bambù a contatto con l'acqua, poiché se l'abitazione venisse sottoposta agli scenari di rischio prospettati allora il bambù subirebbe una ripetuta immersione e riemersione dall'acqua, andando inevitabilmente incontro ad un prematuro danneggiamento.
Allo stesso modo potrebbe essere analizzata attraverso metodi sperimentali la resistenza meccanica dei giunti metallici a forti condizioni di sollecitazione, come quelle causate dal carico del vento.

Per quanto concerne l'esportabilità della proposta deve necessariamente essere tenuto presente che il progetto si basa su specificità del contesto sub-tropicale considerato; le sue prestazioni sono perciò intimamente legate alla coesistenza di diversi fattori, precedentemente descritti.
È altresì vero che vi sono numerosi altri Paesi che presentano condizioni climatiche simili al caso delle Filippine, dove spesso coesistono analoghe predisposizioni a catastrofi naturali.

Per maturare riflessioni più complete potrebbe essere utile procedere con l'accostamento di mappe tematiche specifiche che possano supportare l'individuazione dei contesti dove sussistono le medesime condizioni climatiche e di rischio calamità.
Oltre alle caratteristiche geo-climatiche dei luoghi sarebbe inoltre interessante approfondire quali specie di bambù strutturale sono reperibili a livello locale nei diversi contesti, in modo da fornire una guida di autocostruzione ricca di precisi riferimenti e chiare procedure di azione.

BIBLIOGRAFIA GENERALE

Archila, Rhead, Ansell, Walker e Lizarazo-Marriag*, Elastic response of cross-laminated engineered bamboo panels subjected to in-plane loading*, Ice Publishing, Bath 2016.

Associazione LP – Laboratorio Permanente per la Città: Biennale di Pisa, *Anna Heringer architettura per la dignità*, consultato 01.2021, https://www.biennaledipisa.com/anna-heringer/

Awalluddin D., Mohd Ariffin M., Osman M., Hussin, Ismail M., Seung Lee H. e Shukor Lim N., *Mechanical properties of different bamboo species*, 2017.

Bamboo for emergency: bambù, ideare, costruire, sperimentare, atti di convegno, Torino 2010, consultato 01.2021, https://www.slideshare.net/architettaste/bamboo-for-emergency

Basta S., Mariani V., *Ripensare l'emergenza, soluzioni + strategie*, tesi, Politecnico di Milano, 2015-16.

Belluzzi O., *Scienze delle Costruzioni*, Zanichelli, Bologna 1982.

Bicego F., *Analisi tridimensionale agli elementi finiti delle tensioni di taglio in travi con sezione circolare piena e cava con diversi spessori*, tesi, Ingegneria Meccanica e Meccatronica, Università degli Studi di Padova, 2013-14.

Boughton G.B., *Typhoon damage to bamboo housing*, Perth, Australia, 1987.

Caltabiano I., Lacirignola A*., Bambù per ideare sperimentare e costruire*, Aracne editrice, 2012.

Camacho Reyes V., Páez Ramos I., *Estudio de conexiones en guadua solicitadas a momento flector*, Tesis de pregrado en Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Colombia Bogotà 2002.

Cantoni S., *Il bambù nelle costruzioni: studio di un giunto reversibile per strutture reticolari in bambù*, tesi di laurea, Politecnico di Torino, 2007.

Cardenas Laverde M*., Il bambù come materiale da costruzione*, gruppo editoriale Esselibri, 2008.

Caroli T., Portogallo C., *HOME. Humanitarian and (un)ordinary machine for emergency*, tesi, Politecnico di Milano, 2018.

Carvelli V., Chesi C., *Introduzione alla statica del corpo rigido*, Utet, Torino 2012.

Chandra M. S., Nandapala K., Priyadarshana G., Halwatura R., *Developing a durable thermally insulated roof slab system using bamboo insulation panels*, International Journal of Energy and Environmental Engineering 2019.

Comi C., Corradi Dell'acqua L., *Introduzione alla meccanica strutturale*, McGraw-Hill, Milano 2012.

Cox's Bazaar Site Management Sector, *Technical Guidelines for Mid-term Shelter Design*, 2018, consultato 06/21,
https://www.humanitarianresponse.info/sites/www.humanitarianresponse.info/files/documents/files/final_mid-term_shelter_design_tech_guid_v1_20180610.pdf

Correia M., Dipasquale L., Mecca S., *VerSus, Heritage for tomorrow. Vernacular Knowledge for Sustainable Architecture*. Firenze University Press, 2014.

Da Silva J., *Lesson from Aceh. Key Considerations in Post-Disaster Reconstruction*, Practical Action Publishing 2010.

DeBoer D., Bareis K., *Bamboo Building and Culture*, 2000.

D'Auria A., *Abitare nell'emergenza. Progettare il post disastro*. Edifir, Firenze 2014.

Denittis M., *Analisi sperimentale e numerica di un telaio in Guadua Angustifolia Kunth caricato orizzontalmente: il bambù come possibile alternativa ecosostenibile ai tradizionali materiali da costruzione*, tesi, Università di Bologna, 2018-19.

Disén K., Clouston P. L., *Building with bamboo: a review of culm connection technology*, Journal of Green Building, Volume 8, Number 4, Allen Press, Lawrence, Kansas 2013.

Dunbar G., *Commercial Bamboo Farming*, Brightfields, 2017, consultato 04/2021, http://www.brightfields.co.za/bamboo-farming/.

Dunkelberg K., *Bamboo Volume 31 di IL (Series)*, Institut für Leichte Flächentragwerke, Universität Stuttgart 1985.

Fabiani M., *Bamboo structures: italian bamboo as likely resource for green building*, Phd thesis, Università Politecnica delle Marche, Ancona 2014.

Facchini L., *L'edilizia sostenibile antisismica: la terra cruda come risposta alla duttilità dei tamponamenti*, consultato 01.2021, https://www.architetturaecosostenibile.it/materiali/laterizi-terra-cruda/edilizia-antisismica-terra-cruda-tamponamenti-490

França J. *Costruzioni contemporanee in bambù: Le connessioni dei culmi tramite corda*, Tesi, Politecnico di Torino, 2018.

Gadjah Mada University and International Recovery Platform*, The Yogyakarta and Central Java Earthquake 2006*. Recovery Status Report, 2009.

Gatóo A., Wagemann E., Ramage M.H., *Bahay Kawayan. A Transitional House for the Philippines*, University of Cambridge, Department of Engineering, 2015.

German Red Cross, *Battling the storm. Study on cyclone resistant housing*, M S Enterprise, Dhaka 2007.

German Red Cross, *Shelter Early Action Guidebook*, Berlin 2020.

Global Shelter Cluster, *Shelter Projects 2017-2018. Case Studies of Humanitarian Shelter and Settlement Responses*, 2019, consultato 04/2021 www.shelterprojects.org.

Global Shelter Cluster, Shelter Cluster Philippines, *Recovery Shelter Guidelines – Shelter Options*, novembre 2014, consultato 06/2021 https://www.sheltercluster.org/sites/default/files/docs/Recovery%20Shelter%20Options.pdf

Golden E., *Building from Tradition. Local Materials and Methods in Contemporary Architecture*, Routledge, New York 2018.

Government of Bangladesh, *Cyclone Sidr in Bangladesh. Damage, Loss and Needs Assessment for Disaster Recovery and Reconstruction*, 2008.

Greco S., *Il Bambù Italiano: prove meccaniche e connessioni assiali per prospettive sostenibili*, tesi, Alma Mater Studiorum - Università di Bologna, 2016.

Hidalgo Lopez O., *Manual De Construccion Con Bambu - Construccion Rural*, Universidad Nacional de Colombia, Bogotà 1981.

Hidalgo Lopez O., *Bamboo – The Gift of the Gods*, Bogotá 2003.

Hirano, S., *Learning from the urban transitional shelter response in Haiti. Lessons from CRS' 2010–2012 post-earthquake activities*, Catholic Relief Services (CRS), Baltimora 2012.

Hodgkin D., Prideaux F*., Humanitarian Bamboo Technical Report. Increasing Durability of Bamboo in the Rohingya Camps in Cox's Bazar Bangladesh*, Humanitarian Benchmark Consulting, Bangladesh 2018.

Hong C., Yang D., *Review on Connections for Original Bamboo Structures*, Journal of renewable materials, 2019.

Hong C., Haitao L., Zhenhua X., Rodolfo L., *Review of connections for engineered bamboo structures*, Journal of Building Engineering (30) 2020.

Il Progetto Sostenibile, *Ricerca e tecnologie per l'ambiente costruito - volume 20*, Edicom Edizioni 2008, consultato 01.2021, http://www.arearchitettura.com/uploads/2/8/1/5/28153943/ilprogettosostenibile_vol.20.pdf

IASC, *Transitional Shelter technical guidance*, Shelter Cluster Haiti, 2010.

IFRC, *Transitional Shelters-Eight designs*, Geneva 2011.

IFRC, *Post-disaster shelter: Ten designs*, Geneva 2013.

IFRC and OCHA, *Shelter after disaster*, Second Edition, IFRC and OCHA, 2015.

IOM, *Improved Shelters for Responding to Floods in Pakistan. Phase 1: Study to Develop a Research Methodology*, Ove Arup and Partners International Ltd., 2014.

Yeasmin L., Nasim Ali Md., Gantait S., Chakraborty S., *Bamboo: an overview on its genetic diversity and characterization*, Springer, 2013.

Yoshimura K., *Exploring the Potential of Bamboo as a Didactic Alternative Construction Material. "Living School" for the Community of Tongova Mews*, thesis, Tongaat University of the KwaZulu-Natal Durban, South Africa 2017.

Janssen J.J.A., *Designing and building with bamboo*, Intermediate Technology, Londra 1995.

Janssen J.J.A., *Mechanical Properties of Bamboo*, Kluwer Academic Publishers, Boston 1991.

Janssen, J.J.A. *Bamboo in building structures*. Technische Hogeschool Eindhoven 1981.

Kaminski S., Lawrence A., Trujillo D., *Design Guide for engineered bahareque housing*, Inbar Technical Report, 2015.

Kaminski S., Lawrence A., Trujillo D., Feltham I., López L., *Structural Use of Bamboo 1: Design values*, The Structural Engineer, 2016.

Kaminski S., Lawrence A., Trujillo D., Feltham I., López L., *Structural Use of Bamboo 2: Durability and preservation*, The Structural Engineer, 2016.

Kaminski S., Lawrence A., Trujillo D., Feltham I., López L., *Structural Use of Bamboo 3: Design values*, The Structural Engineer, 2016.

Kaminski S., Lawrence A., Trujillo D., Feltham I., López L., *Structural Use of Bamboo 4: Element design equations*. The Structural Engineer, 2017.

Krämer Verlag K., *IL 31, Bamboo: Bambus als Baustoff / Bamboo as a Building Material*, 1985.

Kumar B. M., George S., Chinnamani S., *Diversity structure and standing stock of the homegardens of Kerala in peninsular India*, Agroforestry System, 1994.

Lanni A., UNHCR Agency, *I rifugiati climatici*, https://www.unhcr.org/it/risorse/carta-di-roma/fact-checking/esistono-i-rifugiati-climatici/ consultato 06/2021.

Leão França J., *Costruzioni contemporanee in bambù: Le connessioni dei culmi tramite corda*, tesi, Politecnico di Torino, 2018.

Maylander E., *S>4W+R. Risposta Alternative to Camps in ambiente urbano*, tesi, Politecnico di Torino, 2020.

Marra da Silva Ribeiro L. H., L. Misael de Aguiar, E. A. de Souza Nogueira, J. F. Dias, Luiz A. Beijo, *Influence of section and moisture content on the tensile strength parallel to fibers of bamboo culms woody material*, 2019.

Minke G., *Building with Bamboo: design and technology of a sustainable architecture*, Birkhäuser, Basel 2012.

Morán Ubidia J., *Construir con bambú. "caña de guayaquil" Manual de construcción*, Red Internacional de Bambú y Ratán, INBAR, 2015.

Moran R., García J.J., *Bamboo joints with steel clamps capable of transmitting moment*, Elsevier, 2019.

National Mission on Bamboo Applications (NMBA), *Preservation of Bamboo. Training Manual*, Department of Science and Technology, Government of India, RSPRINTART, New Delhi 2006, consultato 05/2021, https://www.sheltercluster.org/sites/default/files/docs/preservation_of_bamboo.pdf

Obermann T., Laude R., *Prototyp "Mariposa" BAMBOO SPACE*, TU - Berlin, Germany e UN - Medellin, Colombia, 2004, consultato 05/2021, https://docplayer.org/25217676-Prototyp-mariposa-bamboo-space-forschungs-u-praxisprojekt-raumtragwerke-aus-bambus-tu-berlin-germany-un-medellin-colombia.html

ONU, *Dichiarazione Universale dei Diritti dell'Uomo*, 1948, consultata 06/2021, https://www.un.org/en/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/217(III)

Phanratanamala S., *The Study of Design and Structural Potential of Bamboo Practical Joints and Frame Truss System*, Thesis, Kyushu University Fukuoka, Giappone 2014.

Prosun Prithula, *The LIFT House: An amphibious strategy for sustainable and affordable housing for the urban poor in flood-prone Bangladesh*, tesi di laurea, Waterloo- Canada, 2011.

Ranghieri F., Ishiwatari M., *Learning from megadisasters, lessons from the Great East Japan earthquake*, The World Bank, Washington 2014.

Sangita Das S., Shaw R., Kanbara S., Abe M., Komino T., *Disaster during a pandemic. Lessons from 2020 flooding in South Japan*, CWS Japan, Japan 2021.

Sassu, M., Falco, A. D., Giresini, L., e Puppio, M., *Structural solutions for low-cost bamboo frames: Experimental tests and constructive assessments*, 2016.

Schröder S. *When and how to harvest bamboo, Guadua bamboo*, 2012, consultato 05/2021. http://www.guaduabamboo.com/cultivation/when-and-how-to-harvest-bamboo

Sen A., *Il tenore di vita. Tra benessere e libertà*, Marsilio Editori, Venezia 1993.

Shelter Centre, *Transitional Shelter Guidelines*, Ginevra 2012.

Shelter Cluster Afghanistan, *Cluster Policies and Technical Standards 2017. Technical Guidelines for Shelter & NFIs interventions in Afghanistan*, 2017.

Shiozaki Y., Tanaka Y., Hokugo A., Bettencourt S., *Transitional Shelter. Knowledge Note 4-3, Cluster 4: Recovery Planning*, International Recovery Platform, GFDRR e World Bank, 2013.

Sphere Association, *The Sphere Handbook. Humanitarian Charter and Minimum Standards in Humanitarian Response*, Sphere, Ginevra 2018.

Srinivas H., *Introduction to Disaster Management*, consultato 06/2021 https://www.gdrc.org/uem/disasters/1-introduction.html

Studio Cardenas: *Energy Efficient Bamboo House*, consultato 01.2021, https://www.studiocardenas.it/index.php/it/2015-03-23-13-40-30/bamboo/148-energy-efficient-bamboo-house

Takeuchi C., Estrada M., Linero Segrera D. L., *The Elastic Modulus and Poisson's Ratio of Laminated Bamboo Guadua angustifolia*, Key Engineering Materials, October 2015.

Trujillo D., Ramage M., Chang W., *Lightly modified bamboo for structural applications*, ICE Publishing, 2013.

Uday D.N, Sujatha D, Mamatha B S, and Dr B N Mohanty*, Eco-Friendly Roofing Solution From Bamboo*, Korea 2015.

UN-Habitat, *Sustainable Building Design for Tropical Climates. Principles and Applications for Eastern Africa*, 2014.

UN-HABITAT and IFRC, *Shelter Projects 2009*, 2010.

UN-HABITAT, *Shelter Projects 2008*, 2009.

UNHCR, Shelter and Settlement Section, *Shelter Design Catalogue*, gennaio 2016.

UNHCR, *Handbook for Emergencies*, 2007.

Vitra Design Museum e autori*, Grow your own house, Simon Vélez and bamboo architecture*, Vitra Design Museum, 2000.

Widyowijatnoko, A., *Traditional and Innovative Joints in Bamboo Construction*, Aachen 2012.

Zani E., *L'utilizzo del culmo di bambù come elemento strutturale*, tesi, Università degli Studi di Brescia, 1998.

NORMATIVE

International Standard ISO 22156: Bamboo – Structural Design, International Organization for Standardization, 2004.

International Standard ISO 22157:2019: Bamboo structures — Determination of physical and mechanical properties of bamboo culms — Test methods, International Organization for Standardization, 2019.

Norme Tecniche per le Costruzioni, Gazzetta ufficiale della Repubblica italiana, Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, Roma 2018.

National Structural Code of The Philippines 2010 (NSCP), Sixth Edition, Association of Structural Engineers of the Philippines, 2010.

BIBLIOGRAFIA CAP. 2

Basta S., Mariani V., *Ripensare l'emergenza, soluzioni + strategie*, tesi, Politecnico di Milano, 2015-16.

Caroli T., Portogallo C., *HOME. Humanitarian and (un)ordinary machine for emergency*, tesi, Politecnico di Milano, 2018.

Correia M., Dipasquale L., Mecca S., *VerSus, Heritage for tomorrow. Vernacular Knowledge for Sustainable Architecture,* Firenze University Press, 2014.

Da Silva J., *Lesson from Aceh. Key Considerations in Post-Disaster Reconstruction*, Practical Action Publishing 2010.

D'Auria A., *Abitare nell'emergenza. Progettare il post disastro.* Edifir, Firenze 2014.

Dunkelberg K., *Bamboo Volume 31 di IL (Series)*, Institut für Leichte Flächentragwerke, Universität Stuttgart 1985.

Gadjah Mada University and International Recovery Platform, *The Yogyakarta and Central Java Earthquake 2006. Recovery Status Report,* 2009.

Global Shelter Cluster, *Shelter Projects 2017-2018. Case Studies of Humanitarian Shelter and Settlement Responses*, 2019, consultato 04/2021 www.shelterprojects.org.

Global Shelter Cluster, Shelter Cluster Philippines*, Recovery Shelter Guidelines – Shelter Options*, novembre 2014, consultato 06/2021 https://www.sheltercluster.org/sites/default/files/docs/Recovery%20Shelter%20Options.pdf

Government of Bangladesh, *Cyclone Sidr in Bangladesh. Damage, Loss and Needs Assessment for Disaster Recovery and Reconstruction*, 2008.

Hirano, S., *Learning from the urban transitional shelter response in Haiti. Lessons from CRS' 2010–2012 post-earthquake activities.*, Catholic Relief Services (CRS), Baltimora 2012.

Hodgkin D., Prideaux F., *Humanitarian Bamboo Technical Report. Increasing Durability of Bamboo in the Rohingya Camps in Cox's Bazar Bangladesh,* Humanitarian Benchmark Consulting, Bangladesh 2018.

IASC, *Transitional Shelter technical guidance*, Shelter Cluster Haiti 2010.

IFRC, *Transitional Shelters-Eight designs*, Geneva 2011.

IFRC, *Post-disaster shelter: Ten designs*, Geneva 2013.

IFRC and OCHA, *Shelter after disaster*, Second Edition, IFRC and OCHA, 2015.

IOM, *Improved Shelters for Responding to Floods in Pakistan. Phase 1: Study to Develop a Research Methodology*, Ove Arup and Partners International Ltd., 2014.

Lanni A., UNHCR Agency, *I rifugiati climatici*, https://www.unhcr.org/it/risorse/carta-di-roma/fact-checking/esistono-i-rifugiati-climatici/ consultato 06/2021.

Maylander E., *S>4W+R. Risposta Alternative to Camps in ambiente urbano*, tesi, Politecnico di Torino, 2020.

ONU, *Dichiarazione Universale dei Diritti dell'Uomo*, 1948, consultata 06/2021, https://www.un.org/en/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/217(III)

Prosun Prithula*, The LIFT House: An amphibious strategy for sustainable and affordable housing for the urban poor in flood-prone Bangladesh,* tesi, Waterloo- Canada, 2011.

Ranghieri F., Ishiwatari M., *Learning from megadisasters, lessons from the Great East Japan earthquake*, The World Bank, Washington 2014.

Sangita Das S., Shaw R., Kanbara S., Abe M., Komino T., *Disaster during a pandemic. Lessons from 2020 flooding in South Japan*, CWS Japan, Japan 2021.

Sen A., *Il tenore di vita. Tra benessere e libertà*, Marsilio Editori, Venezia 1993.

Shelter Centre, *Transitional Shelter Guidelines*, Ginevra 2012.

Shelter Cluster Afghanistan, *Cluster Policies and Technical Standards 2017. Technical Guidelines for Shelter & NFIs interventions in Afghanistan*, 2017.

Shiozaki Y., Tanaka Y., Hokugo A., Bettencourt S., *Transitional Shelter. Knowledge Note 4-3, Cluster 4: Recovery Planning*, International Recovery Platform, GFDRR e World Bank, 2013.

Sphere Association, *The Sphere Handbook. Humanitarian Charter and Minimum Standards in Humanitarian Response*, Sphere, Ginevra 2018.

Srinivas H., *Introduction to Disaster Management*, consultato 06/2021 https://www.gdrc.org/uem/disasters/1-introduction.html

The World Bank, *WHAT DID WE LEARN? The Shelter Response and Housing Recovery in the first two years after the 2010 Haiti Earthquake*, Washington DC 2016.

UN-HABITAT and IFRC, *Shelter Projects 2009*, 2010.

UN-HABITAT, *Shelter Projects 2008*, 2009.

UNHCR, *Handbook for Emergencies*, 2007.

UNHCR Shelter and Settlement Section, *Shelter Design Catalogue*, gennaio 2016.

BIBLIOGRAFIA CAP. 3

Arce-Villalobos O., *Fundamentals of the Design of Bamboo Structures*, Technische Universität Eindhoven, Eindhoven 1993.

Archila, Rhead, Ansell, Walker e Lizarazo-Marriag, *Elastic response of cross-laminated engineered bamboo panels subjected to in-plane loading*, Ice Publishing, Bath 2016.

Caltabiano I., Lacirignola A., *Bambù per ideare sperimentare e costruire*, Aracne editrice, 2012.

Camacho Reyes V., Páez Ramos I., *Estudio de conexiones en guadua solicitadas a momento flector*, Tesis de pregrado en Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Colombia Bogotà 2002.

Cantoni S., *Il bambù nelle costruzioni: studio di un giunto reversibile per strutture reticolari in bambù*, tesi di laurea, Politecnico di Torino, 2007.

Cardenas Laverde M., *Il bambù come materiale da costruzione*, gruppo editoriale Esselibri, 2008.

Chandra M. S., Nandapala K., Priyadarshana G., Halwatura R., *Developing a durable thermally insulated roof slab system using bamboo insulation panels*, International Journal of Energy and Environmental Engineering 2019.

DeBoer D., Bareis K., *Bamboo Building and Culture*, 2000.

Denittis M., *Analisi sperimentale e numerica di un telaio in Guadua Angustifolia Kunth caricato orizzontalmente: il bambù come possibile alternativa ecosostenibile ai tradizionali materiali da costruzione, tesi*, Università di Bologna, 2018-19.

Disén K., Clouston P. L., *Building with bamboo: a review of culm connection technology*, Journal of Green Building, Volume 8, Number 4, Allen Press, Lawrence, Kansas 2013.

Dunbar G., *Commercial Bamboo Farming*, Brightfields, 2017, consultato 04/2021, http://www.brightfields.co.za/bamboo-farming/.

Dunkelberg K., *Bamboo Volume 31 di IL (Series)*, Institut für Leichte Flächentragwerke, Universität Stuttgart 1985.

Fabiani M., *Bamboo structures: italian bamboo as likely resource for green building*, Phd thesis, Università Politecnica delle Marche, Ancona 2014.

Golden E., *Building from Tradition. Local Materials and Methods in Contemporary Architecture*, Routledge, New York 2018.

Greco S., *Il Bambù Italiano: prove meccaniche e connessioni assiali per prospettive sostenibili*, tesi, Alma Mater Studiorum - Università di Bologna, 2016.

Hidalgo Lopez O., *Manual De Construccion Con Bambu - Construccion Rural,* Universidad Nacional de Colombia, Bogotà 1981.

Hidalgo Lopez O., *Bamboo – The Gift of the Gods*, Bogotá 2003.

Hodgkin D., Prideaux F., *Humanitarian Bamboo Technical Report. Increasing Durability of Bamboo in the Rohingya Camps in Cox's Bazar Bangladesh,* Humanitarian Benchmark Consulting, Bangladesh 2018.

Hong C., Haitao L., Zhenhua X., Rodolfo L., *Review of connections for engineered bamboo structures*, Journal of Building Engineering (30) 2020.

Hong C., Yang D., *Review on Connections for Original Bamboo Structures*, Journal of renewable materials, August 2019.

Janssen J.J.A., *Designing and Building with Bamboo*, INBAR, 2000.

Janssen J.J.A., *Mechanical Properties of Bamboo*, Kluwer Academic Publishers, Boston 1991.

Janssen, J.J.A. *Bamboo in building structures*. Technische Hogeschool Eindhoven 1981.

Kaminski S., Lawrence A., Trujillo D., Feltham I., López L., *Structural Use of Bamboo 1: Design values*, The Structural Engineer, 2016.

Kaminski S., Lawrence A., Trujillo D., Feltham I., López L., *Structural Use of Bamboo 2: Durability and preservation*, The Structural Engineer, 2016.

Kaminski S., Lawrence A., Trujillo D., Feltham I., López L., *Structural Use of Bamboo 3: Design values*, The Structural Engineer, 2016.

Kaminski S., Lawrence A., Trujillo D., Feltham I., López L., *Structural Use of Bamboo 4: Element design equations*. The Structural Engineer, 2017.

Kumar B. M., George S., Chinnamani S., *Diversity structure and standing stock of the homegardens of Kerala in peninsular India*, Agroforestry System, 1994.

Yeasmin L., Nasim Ali Md., Gantait S., Chakraborty S., *Bamboo: an overview on its genetic diversity and characterization*, Springer, 2013.

Yoshimura K., *Exploring the Potential of Bamboo as a Didactic Alternative Construction Material. "Living School" for the Community of Tongova Mews*, thesis, Tongaat University of the KwaZulu-Natal Durban, South Africa 2017.

Leão França J., *Costruzioni contemporanee in bambù: Le connessioni dei culmi tramite corda*, tesi, Politecnico di Torino, 2018.

Minke G*., Building with Bamboo: design and technology of a sustainable architecture.* Birkhäuser, Basel 2012.

Morán Ubidia J., *Construir con bambú. "caña de guayaquil" Manual de construcción*, Red Internacional de Bambú y Ratán, INBAR, 2015.

Moran R., García J.J., *Bamboo joints with steel clamps capable of transmitting moment*, Elsevier, 2019.

National Mission on Bamboo Applications (NMBA), *Preservation of Bamboo. Training Manual*, Department of Science and Technology, Government of India, RSPRINTART, New Delhi 2006, consultato 05/2021, https://www.sheltercluster.org/sites/default/files/docs/preservation_of_bamboo.pdf

Obermann T., Laude R., *Prototyp "Mariposa" BAMBOO SPACE*, TU - Berlin, Germany e UN - Medellin, Colombia, 2004, consultato 05/2021, https://docplayer.org/25217676-Prototyp-mariposa-bamboo-space-forschungs-u-praxisprojekt-raumtragwerke-aus-bambus-tu-berlin-germany-un-medellin-colombia.html

Phanratanamala S., *The Study of Design and Structural Potential of Bamboo Practical Joints and Frame Truss System*, Thesis, Kyushu University Fukuoka, Giappone 2014.

Sassu, M., Falco, A. D., Giresini, L., e Puppio, M., *Structural solutions for low-cost bamboo frames: Experimental tests and constructive assessments,* 2016.

Schröder S. *When and how to harvest bamboo*, Guadua bamboo, 2012, consultato 05/2021. http://www.guaduabamboo.com/cultivation/when-and-how-to-harvest-bamboo

Takeuchi C., Estrada M., Linero Segrera D. L., *The Elastic Modulus and Poisson's Ratio of Laminated Bamboo Guadua angustifolia*, Key Engineering Materials, October 2015.

Trujillo D., Ramage M., Chang W., *Lightly modified bamboo for structural applications*, ICE Publishing, 2013.

Vitra Design Museum e autori, *Grow your own house, Simon Vélez and bamboo architecture*, Vitra Design Museum, 2000.

Widyowijatnoko, A., *Traditional and Innovative Joints in Bamboo Construction,* Aachen 2012.

BIBLIOGRAFIA CAP. 4

UN-Habitat, Sustainable Building Design for Tropical Climates. Principles and Applications for Eastern Africa, 2014.

Associazione LP – Laboratorio Permanente per la Città: Biennale di Pisa, Anna Heringer architettura per la dignità, consultato 01.2021, https://www.biennaledipisa.com/anna-heringer/

Bamboo for emergency: bambù, ideare, costruire, sperimentare, atti di convegno, Torino 2010, consultato 01.2021, https://www.slideshare.net/architettaste/bamboo-for-emergency

Basta S., Mariani V., Ripensare l'emergenza, soluzioni + strategie, tesi, Politecnico di Milano, 2015-16.

Boughton G.B., Typhoon damage to bamboo housing, Perth, Australia, 1987.

Caltabiano I., Lacirignola A., Bambù per ideare sperimentare e costruire, Aracne editrice, 2012.

Cardenas Laverde M., Il bambù come materiale da costruzione, gruppo editoriale Esselibri, 2008.

Cox's Bazaar Site Management Sector, *Technical Guidelines for Mid-term Shelter Design*, 2018, consultato 06/21,
https://www.humanitarianresponse.info/sites/www.humanitarianresponse.info/files/documents/files/final_mid-term_shelter_design_tech_guid_v1_20180610.pdf

DeBoer D., Bareis K., *Bamboo Building and Culture*, 2000.

Dunkelberg K., *Bamboo Volume 31 di IL (Series)*, Institut für Leichte Flächentragwerke, Universität Stuttgart 1985.

Facchini L., *L'edilizia sostenibile antisismica: la terra cruda come risposta alla duttilità dei tamponamenti*, consultato 01.2021, https://www.architetturaecosostenibile.it/materiali/laterizi-terra-cruda/edilizia-antisismica-terra-cruda-tamponamenti-490

França J. *Costruzioni contemporanee in bambù: Le connessioni dei culmi tramite corda.* Tesi, Politecnico di Torino, 2018.

Gadjah Mada University and International Recovery Platform, *The Yogyakarta and Central Java Earthquake 2006. Recovery Status Report*, 2009.

Gatóo A., Wagemann E., Ramage M.H., *Bahay Kawayan. A Transitional House for the Philippines,* University of Cambridge, Department of Engineering, 2015.

German Red Cross, *Battling the storm. Study on cyclone resistant housing*, M S Enterprise, Dhaka 2007.

German Red Cross, Shelter Early Action Guidebook, Berlin 2020.

Golden E., *Building from Tradition. Local Materials and Methods in Contemporary Architecture*, Routledge, New York 2018.

Hidalgo Lopez O., *Manual De Construccion Con Bambu - Construccion Rural,* Universidad Nacional de Colombia, Bogotà 1981.

Hidalgo Lopez O., *Bamboo – The Gift of the Gods*, Bogotá 2003.

Hirano, S., *Learning from the urban transitional shelter response in Haiti*, Catholic Relief Services, Baltimora 2012.

IOM, *Improved Shelters for Responding to Floods in Pakistan Phase 1: Study to Develop a Research Methodology*, Ove Arup and Partners International Ltd., 2014.

Yoshimura K., *Exploring the Potential of Bamboo as a Didactic Alternative Construction Material. "Living School" for the Community of Tongova Mews*, thesis, Tongaat University of the KwaZulu-Natal Durban, South Africa 2017.

Janssen J.J.A., *Designing and building with bamboo*, Intermediate Technology, Londra 1995.

Kaminski S., Lawrence A., Trujillo D*., Design Guide for engineered bahareque housing*, Inbar Technical Report, 2015.

Krämer Verlag K*., IL 31, Bambus. IL 31, Bamboo: Bambus als Baustoff / Bamboo as a Building Material*, 1985.

Leão França J., Costruzioni contemporanee in bambù: Le connessioni dei culmi tramite corda, tesi, Politecnico di Torino, 2018.

Minke G*., Building with Bamboo: design and technology of a sustainable architecture,* Birkhäuser, Basel 2012.

Morán Ubidia J., *Construir con bambú. "caña de guayaquil" Manual de construcción*, Red Internacional de Bambú y Ratán, INBAR, 2015.

Phanratanamala S., *The Study of Design and Structural Potential of Bamboo Practical Joints and Frame Truss System*, Thesis, Kyushu University Fukuoka, Giappone 2014.

Prosun Prithula*, The LIFT House: An amphibious strategy for sustainable and affordable housing for the urban poor in flood-prone Bangladesh,* tesi di laurea, Waterloo- Canada, 2011.

Uday D.N, Sujatha D, Mamatha B S, and Dr B N Mohanty*, ECO-FRIENDLY ROOFING SOLUTION FROM BAMBO*O, Korea 2015

UN-Habitat, *Sustainable Building Design for Tropical Climates. Principles and Applications for Eastern Africa*, 2014.

Vitra Design Museum e autori, *Grow your own house, Simon Vélez and bamboo architecture*, Vitra Design Museum, 2000.

BIBLIOGRAFIA CAP. 5

Belluzzi O., *Scienze delle Costruzioni*, Zanichelli, Bologna 1982.

Bicego F., *Analisi tridimensionale agli elementi finiti delle tensioni di taglio in travi con sezione circolare piena e cava con diversi spessori*, tesi di Laurea in Ingegneria Meccanica e Meccatronica, Università degli Studi di Padova, 2013-14.

Cantoni S., *Il bambù nelle costruzioni: studio di un giunto reversibile per strutture reticolari in bambù*, tesi di laurea, Politecnico di Torino, 2007.

Cardenas Laverde M., *Il bambù come materiale da costruzione*, gruppo editoriale Esselibri, 2008.

Carvelli V., Chesi C., *Introduzione alla statica del corpo rigido*, Utet, Torino 2012.

Comi C., Corradi Dell'acqua L., *Introduzione alla meccanica strutturale*, McGraw-Hill, Milano 2012.

Denittis M., *Analisi sperimentale e numerica di un telaio in Guadua Angustifolia Kunth caricato orizzontalmente: il bambù come possibile alternativa ecosostenibile ai tradizionali materiali da costruzione.* Tesi di Laurea, Università di Bologna, 2018-19.

Janssen J.J.A., *Designing and building with bamboo*, Intermediate Technology, Londra 1995.

Kaminski S., Lawrence A., Trujillo D., Feltham I., López L., *Structural Use of Bamboo 1: Design values*, The Structural Engineer, 2016.

Kaminski S., Lawrence A., Trujillo D., Feltham I., López L., *Structural Use of Bamboo 3: Design values*, The Structural Engineer, 2016, pp. 42-45.

Kaminski S., Lawrence A., Trujillo D., Feltham I., López L., *Structural Use of Bamboo 4: Element design equations*. The Structural Engineer, 2017, pp. 25-27.

Leão França J., Costruzioni contemporanee in bambù: Le connessioni dei culmi tramite corda, tesi, Politecnico di Torino, 2018.

Marra da Silva Ribeiro L. H., L. Misael de Aguiar, E. A. de Souza Nogueira, J. F. Dias, Luiz A. Beijo, *Influence of section and moisture content on the tensile strength parallel to fibers of bamboo culms woody material*, 2019.

Vitra Design Museum e autori, *Grow your own house, Simon Vélez and bamboo architecture*, Vitra Design Museum, 2000.

Zani E., *L'utilizzo del culmo di bambù come elemento strutturale*, Tesi di laurea, Università degli Studi di Brescia, 1998.

NORMATIVE

International Standard ISO 22156: Bamboo – Structural Design, International Organization for Standardization, 2004.

International Standard ISO 22157:2019: Bamboo structures — Determination of physical and mechanical properties of bamboo culms — Test methods, International Organization for Standardization, 2019.

Norme Tecniche per le Costruzioni, Gazzetta ufficiale della Repubblica italiana, Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, Roma 2018.

National Structural Code of The Philippines 2010 (NSCP), Sixth Edition, Association of Structural Engineers of the Philippines, 2010.

INDICE FIGURE

Figura 1. Ciclo di gestione del disastro (web). 6
Figura 2. La risposta umanitaria ad Haiti nel periodo gennaio 2010-agosto 2011 in migliaia di unità. Essa mostra l'impiego di diverse opzioni di assistenza (Hirano 2012). 10
Figura 3. A) La struttura del Transitional Shelter; B) vista dell'abitazione completata; C) Roof first Concept; D) Pianificazione del processo; E) Materassini di bambù per le pareti; F) Vista dello spazio interno (Ranghieri e Ishiwatari 2014). 16
Figura 4. I numeri dello Shelter Response del Catholic Relief Services al terremoto di Haiti del 2010 (Hirano 2012). 17
Figura 5. A) Lo Shelter nella sua versione originale; B) Lo Shelter dopo la modifica delle finestre attuata per garantire l'aerazione ma prevenire l'ingresso dell'acqua piovana; C) Rubble to reconstruction; D) Parziale chiusura del portico con i teloni cerati; E) Uno dei centri di prefabbricazione; F) Trasporto delle pareti prefabbricate; G) Assemblaggio del frame; H) Densitò degli Shelter in area urbana (Hirano 2012). 20
Figura 6. Figura 5. A) Vista sull'insediamento; B) Realizzazione: è visibile il rivestimento in fibrocemento per la porzione inferiore delle pareti; C) Fronte principale dell'abitazione; D) Il sistema di toilette, separato dall'abitazione; E) Fissaggio del telaio della capriata lignea;; F) Vista interna di uno Shelter (https://www.stonesoupcartoons.com/2011/11/haiti-part-2-the-build.html). 23
Figura 7. Bangladesh 2009: A) Shelter completato; B) Struttura portante e copertura; C) e D) Shelter ampliati dai nuclei familiari; E) e F), Shelter di emergenza costruiti autonomamente dalla popolazione. 26
Figura 8. Disegni tecnici di progetto (IFRC 2013). 27
Figura 9. A) Core House in construzione; B) L'abitazione completa; C) Vista dall'interno della parete di tamponamento. 30
Figura 10. Shelter completati: piccole variazioni dovute alla realizzazione da parte di differenti General Contractors. 32
Figura 11. Correlazione tra la diffusione dei bambù erbacei e legnosi e la classificazione climatica (Zujian Huang et al 2017). 35
Tabella 1. Alcune delle specie maggiormente utilizzate in ambito strutturale (Kaminski et al. 2016). 36
Figura 13. Gemme di bambù di specie pachimorfa (web). 37
Figure 14. Rizoma leptomorfo (https://www.bamboobotanicals.ca/html/about-bamboo/bamboo-growth-habits.html) 38
Figura 15. Rizoma e sviluppo verticale del culmo (web). 38
Figura 16. Sezioni trasversali della parete di un culmo (web). 39
Figura 17. Alcune tra le specie più particolari: Bambusa Ventricosa e Phyllostachis Edulis Bicolor (web)..... 40
Tabella 2. Resistenza ultima a trazione [N/mm2] in funzione dell'età del culmo (Cardenas 2008). 41
Tabella 3. Variazioni di lunghezza (L), diametro (W1) e spessore (t) in seguito a processo di essiccazione (Da S. Ribeiro et al. 2019). 41
Tabella 4. Variazioni di diametro, densità e spessore di parete di diverse specie al settimo anno di età (Da S. Ribeiro et al. 2019). 42
Tabella 5. Variazione della densità per le condizioni di contenuto di umidità stabilite (Da S. Ribeiro et al. 2019). 42
Tabella 6. Fattori interni ed esterni (Phanratanamala 2014). 42
Tabella 7. Comparazione delle proprietà fisiche e meccaniche di alcune specie di legname (web). 43
Figura 24. Azione assiale di trazione e compressione. 43
Tabella 8. Resistenza a trazione parallela alle fibre: PA=P. Aurea, PP= P. Pubescens, DA= Dendrocalamus (Marra Da Silva Ribeiro et al. 2019). 44
Figura 26. Test di compressione su provino di bambù (Janssen 1981). 44

Tabella 9. Valori di resistenza a compressione del Phyllostachis Reticulata (Cardenas 2008). 45
Tabella 10. Proprietà meccaniche di diversi materiali a confronto (DeBoer e Bareis 2000)..... 45
Figura 29. Grafico carico-spostamento per la prova a flessione (Greco 2016). 46
Tabella 11. Confronto tra tensione ultima a flessione e modulo elastico in funzione dell'età, per bambù verde e stagionato con MC 12% (Cardenas 2008) 46
Figura 31. Performance del bambù e di altri materiali in relazione al modulo elastico E e alla densità ρ (Ghavami 2005). 46
Tabella 12. Valori del modulo elastico di compressione e di trazione, riferiti a culmi di diverso diametro (Cardenas 2008)..... 47
Figura 33. Schema di realizzazione di prova a taglio (Janssen 1981). 47
Figura 34. Panyaden International School di Chiang Mai, architetti Markus Roselieb e Tosapon Sittiwong (Markus Roselieb 2017). Figura 35. Bambù come armatura nel calcestruzzo (web). Figura 36. Ponteggi realizzati in bambù in un cantiere cinese (web). Figura 37. Ponte sospeso in bambù Orangutan Haven (Binsar Bakkara 2018)..... 48
Figura 37. Culmi attaccati da un fungo e culmo preda delle termiti (guaduabamboo.com). 49
Figura 38. Schema del rischio di degrado in differenti porzioni di un edificio (Trujillo et al. 2013). 50
Figura 39. Fenomeni di degrado (Minke 2012). 50
Figura 40. Rottura del culmo per scorretto posizionamento dei nodi (web). 52
Figura 41. Variazioni dello spessore e della lunghezza degli internodi lungo l'estensione del culmo (Ghavami 2005)..... 52
Figura 42. Differenti campioni estraibili dal culmo per i test sulle sue proprietà (https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rsos.160412)..... 53
Tabella 13. Periodo di vita del bambù in diverse condizioni di utilizzo, presupponendo un ambiente caldo con alto rischio di attacchi di termiti e coleotteri (Kaminski et al. 2016)..... 54
Figura 44. A) Trattamento per immersione in vasca; B) Culmi dopo il processo di affumicamento; C) Piegatura dei culmi (web)..... 55
Figura 45. Trattamento dei culmi per immersione in acqua calda (web). 56
Figura 46. A) Trattamento dei culmi per diffusione verticale; B) metodo Boucherie modificato (web). 57
Figura 47. Metodi di trattamento preservante. 58
Figura 48. A) Culmi esposti verticalmente per processo di asciugatura (web). B) Culmi stoccati in luogo riparato e ventilato (web)..... 59
Figura 49. A) Taglio a bocca di pesce con perno tensore in metallo; B) Fissaggio di un culmo con taglio a becco di flauto. C) Prova di compressione per taglio a bocca di pesce; D) in viola e rosso le aree maggiormente sollecitate (Takeuchi et al. 2016). 60
Figura 50. Intagli per diverse giunzioni in bambù (Oscar Hidalgo Lopez 1981). 61
Figura 51. Operai realizzano legature per sistema di copertura in Bangladesh..... 61
Figura 52. A) Connessioni con elemento passante o plug-in; B) Connessioni tra pilastri e travi tramite corda (O. Hidalgo Lopez 1981). 63
Figura 53. A) Connessione plug-in con spinotto in bambù; B) Connessione plug-in con spinotto ligneo; C) Associazione di legatura e spinotto ligneo; D) Legatura su elementi strutturali in fasci di bambù. 63
Figura 54. Giunti con elementi passanti in acciaio. A) Barra filettata e dado, B) Bulloni e plug-in di legno (web)..... 64
Figura 55. Diverse tipologie di realizzazione dell'attacco tra bambù e struttura di fondazione..... 64
Figura 56. A) Fondazione con inserimento di calcestruzzo e barre metalliche(lucilaaguilar.com); B) Fissaggio tramite staffe; C) Fondazione tramite elementi metallici (Simon Velez); D) Fori di Inserimento del calcestruzzo (web). 64
Figura 57. Fondazione su piedistalli di calcestruzzo (Anna Heringer). 65

Figura 58. Mappa delle diverse connessioni possibili: (da dx) fissate esternamente, perpendicolari alle fibre, inserite internamente (Widyowijatnoko 2012). 66
Figura 59. Giunto che permette la trasmissione del momento. A) morsa semplice; b) morsa e barra filettata passante; c) morsa e avvitatura senza trapasso del culmo (Moran e García 2019). 67
Figura 60. A) Giunto ingegnerizzato per la Energy Efficient Bamboo House; B) schizzi di progetto, Mauricio Cardenas (archdaily.com). 68
Figura 61. A) Struttura tridimensionale per la copertura di uno spazio didattico, Leiko Motomura (amima-arquitetura.com); B) Bamboo pavilion ad Arles, Simón Vélez (divisare.com). 69
Figura 62. A) Sezione del giunto proposto da Tim Obermann; B) Attacco tra il giunto e la fondazione (web). 70
Figura 63. A) Bamboo Pavilion - Keystone Footers - Guadua Tech Project (bamboocraft.net); B) Giunto ingegnerizzato acciaio e riempimento in calcestruzzo, Bamboo Pavilion Expo Shanghai (inspiration.detail.de); C) giunto in acciaio e calcestruzzo con cerchiatura esterna in cavo metallico (amima-arquitetura.com.br); connessione tramite forature e giunto metallico Tim Obermann. 71
Figura 64. Giunto reversibile di Simone Cantoni (Caltabiano e Lacirignola 2012). 72
Figura 65. A) Inserimento di elemento in legno; B) inserimento di elemento metallico (Lucila Aguilar). 73
Figura 66. A) Piastra metallica di connessione con inserimento di calcestruzzo e giunzione bullonata; B) Giunto rinforzato con calcestruzzo. 74
Figura 67. A) Soluzione ibrida bambù e legno, senza forature e con foratura ed elemento passante (Arce Villalobos 1993); B) Costruzione di una casa tradizionale bhutanese con il metodo wood fitting di Arce Villalobos (Inbar.int). 74
Figura 68. Bamboo Design Approach (Arce Villalobos 1993). 75
Figura 69. Criteri chiave per la valutazione dell'abitabilità (Da Silva 2008). 79
Figura 70. Poster per l'applicazione dei concetti Build Back Safer (Shelter Cluster Philippines 2016) e per il montaggio dei tie-down kit (Bangladesh). 81
Figura 71. A) Hurricane steel straps (Opdyke 2017; B) Muro di blocchi in cls prefabbricati (Kaminski 2015). 82
Tabella 14. Tabella dei valori delle azioni variabili sul piano di pavimento a seconda dell'uso (NSCP 2010). 99
Tabella 15. Azioni variabili sulla copertura, escluso il carico del vento (NSCP 2010). 100
Tabella 16. A). Zone di classificazione del vento per differenti province delle Filippine (NSCP 2010); B) Il fattore di importanza in riferimento alla categoria di occupazione; C) Categoria di occupazione a cui appartiene il progetto; D) Schemi dell'azione del vento per struttura con tetto ad una falda inclinata (NSCP 2010). 101
Figura 72. Schema statico di trave su due appoggi, in rosso il punto di maggior sollecitazione a flessione. 102
Tabella 17. Valori di tensione ammissibili, tratto da Mauricio Cardenas Laverde 2008. 103
Figura 73. a) Sollecitazione di flessione in un concio di trave. In rosso la distribuzione delle tensioni σ; b) l'andamento delle tensioni τ in una sezione sottoposta a taglio. 103
Figura 74. Andamento delle tensioni normali e tangenziali nelle travi con culmo singolo e doppio; sezione tipo del pilastro. Il τ ha andamento parabolico ed è massimo in corrispondenza dell'asse neutro, mentre σ è maggiore sui lembi superiori ed inferiori del culmo. 104
Tabella 18. Tabella riassuntiva delle caratteristiche fisiche dei componenti del progetto. 107
Figura 75. A) Carico del vento sulla copertura. Esso grava sui semiculmi (in blu); B) carico permanente e variabile gravante sulle travi secondarie di copertura (in rosso). 108
Tabella 19. Carichi sulle travi secondarie di copertura, la trave tk non sorregge la copertura di semiculmi né è calpestabile. 108
Tabella 20. Carichi distribuiti sulle travi reticolari. Il tamponamento grava solo sulle travi di bordo, perciò tr5, tr9 e TR1 e TR4. 109
Figura 76. Piante strutturali con individuazione della gerarchia strutturale per azioni verticali. 110

Figura 77. Schemi statici trave secondaria di copertura. 111
Figura 78. Diagrammi azioni interne delle travi secondarie di copertura. 111
Tabella 21. Reazioni vincolari delle travi secondarie di copertura, senza (sx) e con (dx) carico di vento..... 111
Tabella 22. Reazioni vincolari delle travi principali di copertura t2 e t3. 112
Figura 79. travi principali di copertura: a sx la trave Gerber per la risoluzione dell'iperstaticità di t2 e t3.. 112
Figura 80. Diagrammi azioni interne travi principali di copertura t2 e t3 (trave Gerber). 112
Figura 81. Schemi statici delle aste inclinate di facciata e dei pilastri..... 113
Figura 82. Schemi statici delle travi reticolari secondarie. 114
Figura 83. Schema statico delle travi reticolari principali. 114
Figura 84. Piante strutturali. 115