

**ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA**

**DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, CHIMICA,
AMBIENTALE E DEI MATERIALI**

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA ED ARCHITETTURA

TESI DI LAUREA

In

TEORIA DELLE STRUTTURE

**“Tea Leaves in the Wind” Pavilion:
Progettazione Architettonica e Strutturale di un Padiglione in
Bambù per il Contest BAC 2021**

CANDIDATO:
Loris Carlucci

RELATORE:
Prof.ssa Ing. Luisa Molari

CORRELATORI:
Prof. Arch. Lamberto Amistadi
Dott.ssa Silvia Greco

Anno Accademico 2020/2021
Sessione III

*“Ogni cosa che puoi immaginare,
la Natura l’ha già creata”
Albert Einstein*

ABSTRACT

Sin dai tempi più antichi, il bambù veniva utilizzato come materiale da costruzione in combinazione con altri materiali quali legno o calce. La motivazione dietro questo precoce utilizzo del materiale in ambito edilizio consiste nella sua elevata reperibilità coadiuvata da buone proprietà meccaniche che permettevano la costruzione di ripari stabili e resistenti. Arrivando ai giorni nostri, il bambù può e deve tornare a ricoprire un ruolo di primo piano nell'ambito delle costruzioni, essendo un esempio lampante di quella sostenibilità tanto ricercata dai normatori. Di fatto l'utilizzo di questo materiale, dato l'elevato tasso di crescita delle piante, consente di abbattere notevolmente il fenomeno della deforestazione e grazie alle sue caratteristiche biologiche di ridurre il contenuto di CO₂ nell'aria assorbendone un quantitativo del 40% più grande rispetto agli alberi e producendo il 25% di O₂ in più rispetto ad essi.

Alla luce di questi fattori che inducono a pensare che il bambù possa essere il “materiale da costruzione del futuro”, questo lavoro di tesi cerca di mettere in evidenza, attraverso un esempio di progettazione, le caratteristiche di due specie di bambù: il *Phyllostacys Edulis* coltivato in Italia e la *Guadua Angustifolia* importata principalmente da territorio colombiano.

L'occasione di progettare un edificio in bambù è stata colta decidendo di partecipare, in rappresentanza dell'Università degli Studi di Bologna, al concorso “Bamboo Architectural Competition – BAC2021”. Il concorso in questione si impernia sul tema della “rinascita” delle zone rurali attraverso la progettazione di padiglioni ed opere d'arte realizzate in bambù, disseminate nel territorio della Contea di Anji, nella Cina orientale. Ai partecipanti, suddivisi in gruppi, è affidato il compito di ideare dei concept di tali costruzioni per una delle aree di progetto assegnate, ponendo attenzione particolare alla natura ed alle sue forme. Si è scelto dunque, tra le varie opzioni proposte, di realizzare un padiglione sito in riva ad un lago artificiale, localizzato nel cuore della “Lion Stone Reservoir” nella Contea di Anji.

Nella prima parte della tesi si illustra come, seguendo le linee guida dettate dalla commissione della competizione, sia stato ideato il concept a livello architettonico facendo convivere la struttura in bambù con materiali differenti, quali vetro e fibra tessile. Si sottolinea inoltre il rispetto delle forme naturali e l'ispirazione proveniente da esse, in particolare dalle foglie del tè.

Nella seconda parte dell'elaborato si procede ad un calcolo strutturale del concept ideato, per comprenderne meglio la fattibilità e le disposizioni necessarie per resistere alle sollecitazioni calcolate

seguendo la normativa NTC18 italiana e la norma ISO 22156 specifica sul Bambù. Il dimensionamento viene infatti effettuato ipotizzando di dover costruire il padiglione non più nella contea di Anji, di cui non si è riuscito a reperire informazioni utili alla progettazione, bensì su territorio italiano in modo tale da poter far riferimento alle suddette normative. Si dimensiona il padiglione utilizzando le due tipologie (autoctona italiana e colombiana) di bambù indicate in precedenza, illustrandone le caratteristiche meccaniche in un capitolo dedicato. Dallo studio sono emerse alcune criticità e relative alle normative specifiche per le costruzioni in bambù, specialmente in ambito sismico.

Si precisa che il seguente lavoro di tesi si è fermato al calcolo degli elementi strutturali del padiglione e non ha trattato il problema delle connessioni tra i vari elementi strutturali, che verrà approfondito in un altro elaborato di tesi.

SOMMARIO

1. Bamboo Architectural Competition – BAC 2021	8
2. Progettazione Architettonica Padiglione del Tè	11
3. Introduzione al Calcolo Strutturale del Padiglione del Tè	22
3.1. Definizione Proprietà Bambù	27
3.1.1. Phyllostaxis Edulis	28
3.1.2. Guadua Angustifolia	31
3.2. Definizione dei Carichi.....	33
3.2.1. Carichi Permanenti Strutturali.....	33
3.2.2. Carichi Permanenti Non Strutturali.....	33
3.2.3. Carichi Variabili.....	33
3.2.3.1. Carico da Neve.....	34
3.2.3.2. Carico da Vento	35
3.2.4. Ripartizione dei Carichi Variabili.....	38
3.2.5. Combinazioni di Carico	43
4. Modellazione agli Elementi Finiti della Struttura.....	45
5. Verifiche SLU – Padiglione in Bambù Moso e Guadua.....	50
5.1. Padiglione in Bambù Autoctono Moso	51
5.1.1. Verifica a Flessione.....	51
5.1.2. Verifica a Taglio	55
5.1.3. Verifica a Sforzo Normale	57
5.1.4. Verifica a PressoFlessione.....	62
5.1.5. Verifica a TensoFlessione.....	67
5.1.6. Conclusioni e Modifica Strutturale.....	70
5.2. Padiglione in Bambù Colombiano Guadua.....	71
5.2.1. Verifica a Flessione.....	71
5.2.2. Verifiche a Taglio	74
5.2.3. Verifica a Sforzo Normale	76
5.2.4. Verifica a Pressoflessione.....	81
5.2.5. Verifica a TensoFlessione.....	87
5.2.6. Definizione Numero Culmi Definitivi	89
6. Analisi Sismica – Padiglione del Tè in Guadua	91
6.1. Calcolo del Peso delle Coperture.....	91
6.2. Definizione Spettri di Risposta	93

6.2.1.	Spettro di Risposta allo SLD.....	93
6.2.2.	Spettro di Risposta allo SLV.....	97
6.3.	Applicazione del Metodo delle Forze Laterali	99
6.4.	Combinazione delle Azioni Sismiche e Applicazione nel Modello	101
6.5.	Verifica SLD – Spostamenti Interpiano	104
6.6.	Verifica SLV – Trascurabilità Effetti del Secondo Ordine.....	105
6.7.	Verifica SLV – Sollecitazioni Agenti su Travi e Pilastrì	107
6.7.1.	Verifica a Flessione.....	107
6.7.2.	Verifica a Taglio	108
6.7.3.	Verifica a Sforzo Normale	109
6.7.4.	Verifica a PressoFlessione.....	110
6.7.5.	Verifica a TensoFlessione.....	111
6.7.6.	Conclusioni.....	111
7.	Verifiche SLE – Padiglione in Bambù Guadua	112
8.	Disegni Strutturali Definitivi – Padiglione del Tè in Guadua	117
9.	Conclusioni	122
10.	Bibliografia	124

1. Bamboo Architectural Competition – BAC 2021

La Bamboo Architectural Competition 2021, o più brevemente BAC 2021, è una competizione architettonica sponsorizzata dal Governo Popolare della Contea di Anji (provincia di Zhejiang) ed organizzata dall'Ufficio Economico ed Informativo di Anji e dal Centro di Sviluppo dell'Industria del Bambù di Anji. La competizione è finalizzata ad incrementare lo sviluppo economico e turistico della zona rurale di Anji, situata nella parte orientale della Cina, e citando direttamente il documento presentativo della competizione:

“Anji ha un eccellente ambiente naturale e una volta ha vinto il "UN Habitat Award". Al momento, la strategia necessaria per lo sviluppo rurale di Anji è l'input di diversi fenomeni culturali, concetti e stili di vita. È il momento giusto per assumere l'estetica come guida e l'arte come forza produttiva dell'edilizia rurale.”

Di conseguenza, il governo locale ha scelto la via dell'arte e dell'edilizia sostenibile per innovare la zona ed attrarre sempre più turisti da tutta la Cina e dal resto del mondo e per far ciò ha messo al bando numerosi premi destinati alle idee progettuali più meritevoli di essere realizzate nelle zone preposte. Nel bando vengono introdotte un totale di quattro aree di progetto, situate nell'area relativa alla riserva naturale della Pietra del Leone (Lion Stone Reservoir):

- 1) Design Area 1 - Si tratta di un'area sita in corrispondenza di un incrocio stradale, destinata ad accogliere una struttura di copertura;
- 2) Design Area 2 - Si tratta di un'area sita in corrispondenza di un incrocio stradale, destinato ad accogliere uno spazio pubblico dedicato all'arte;
- 3) Design Area 3 - Un'altra area in corrispondenza di un incrocio stradale, in cui sarà disposta un'installazione artistica tra le proposte dei concorrenti;
- 4) Design Area 4 - Si tratta di un insieme di quattro aree situate in riva al lago artificiale nel cuore della riserva, ciascuna delle singole aree è dedicata ad una specifica attività e viene chiesto di rispettare tale finalità nel progetto finale di un padiglione destinatovi:
 - 4a. Tea Workshop → Area dedicata alla preparazione e degustazione del tè;
 - 4b. Coffee Workshop → Area dedicata alla preparazione e degustazione del caffè;
 - 4c. Hand Made Workshop → Area dedicata a prodotti manifatturieri della zona;
 - 4d. Light-Food Workshop → Area dedicata alla degustazione di cibo tipico della zona.

Il contest richiede che i partecipanti selezionino una delle aree per progettarvi dei concept da realizzare in bambù.

Tra le suddette aree, dopo un'attenta analisi, si è scelta la Design Area 4a – Tea Workshop in quanto dà l'opportunità di realizzare un padiglione e garantisce uno spazio più ampio con cui lavorare. Le dimensioni dell'area di progetto sono infatti 3,5 m x 15 m con un'altezza massima di 4 m.

Il contest nel proprio bando delinea inoltre delle indicazioni sulla direzione che i concept devono seguire per essere selezionati:



“Segui le regole della natura, costruendo tra Oriente e Occidente. Il design del concorso seguirà le regole della natura, presenterà l'estetica nella natura e integrerà le discipline umanistiche. Esplora le varie possibilità di combinare la costruzione con l'architettura, la bassa tecnologia con la nuova tecnologia, i materiali naturali con i nuovi materiali nella costruzione. E cogli questa opportunità per rendere l'applicazione dei materiali di bambù una questione sostenibile, fenomenologia contemporanea e illuminazione per il futuro.”

Figura 1-Mappa Design Areas BAC2021

Riassumendo, è richiesta una costruzione in bambù che riesca ad imitare le forme naturali andando a adattarsi alla zona di interesse, garantendo un legame profondo tra materiali “nuovi” ed “antichi” e dando nuova linfa vitale alla costruzione ed all'ambiente circostante. La struttura in questione, quindi, dovrà bilanciare modernità ed elementi classici rendendo un materiale antico come il bambù un elemento senza tempo.

Si riporta di seguito una piantina della zona selezionata ed un'immagine dell'area circostante, in modo tale da comprendere appieno l'ambiente su cui si andrà a lavorare. Si noti come la zona sia direttamente

a contatto con il lago, creando un riflesso suggestivo delle strutture e del verde che attorna la zona, ricoprendo la superficie della collina adiacente.

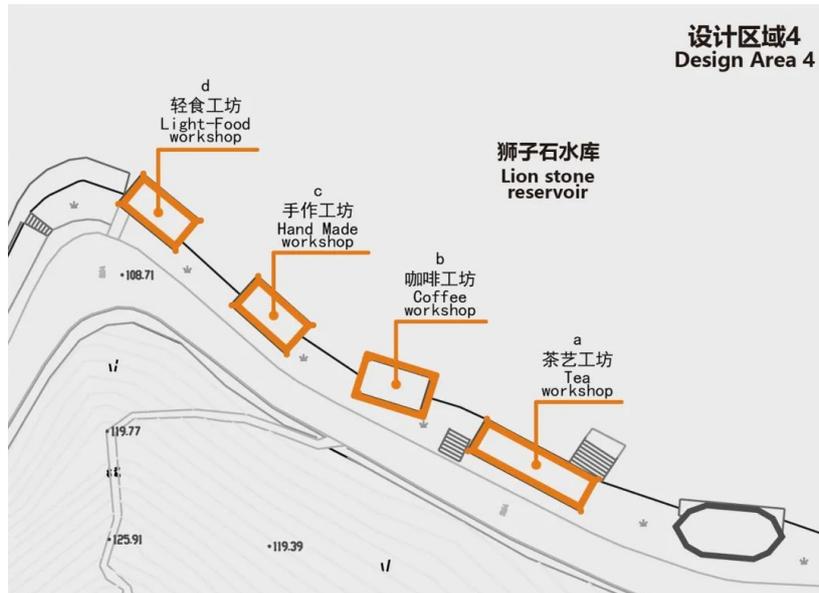


Figura 2-Mappa Design Area 4



Figura 3 - Immagini Design Area 4

2. Progettazione Architettonica Padiglione del Tè

Una volta selezionata l'area di progetto si procede con la stesura del progetto in sé. Per prima cosa è necessario fissare quanto imparato finora riguardo il concept da realizzare e l'area circostante:

- L'area di progetto è lunga 15 m e larga 3,5 m, bisogna rimanere all'interno di queste dimensioni e non superare i 4 m di altezza per il padiglione, di conseguenza la struttura sarà allungata in una direzione e sarà necessario selezionare una forma appropriata;
- L'area di progetto affaccia direttamente sul lago ed il riflesso dell'acqua è un componente importante del prospetto principale della struttura, di conseguenza si può pensare di comporre un gioco di riflessi importante utilizzando appositi accorgimenti;
- L'area di progetto è ribassata rispetto alla strada che la fiancheggia, questo va a diminuire l'importanza del prospetto situato nel retro (orientato verso sud) che risulta meno visibile;
- L'area di progetto è destinata ad accogliere la preparazione e degustazione del tè coltivato nella zona rurale di Anji, di conseguenza si può trarre ispirazione da questo collegamento con la natura per la realizzazione della struttura;
- L'affaccio sul lago risulta essere un punto cardine del progetto quindi la struttura deve garantire assenza di ostacoli in questa direzione e di conseguenza si può pensare di non utilizzare pareti chiuse a delimitare il padiglione.

Preso atto di questi cinque punti fondamentali si procede con la rappresentazione delle prime idee di progetto. L'idea di fondo è quella di progettare un padiglione che segua delle forme organiche, rifacendosi alla natura circostante e strizzando l'occhio alle attività destinate ad essere ospitate. Per questo motivo si pensa di sviluppare una copertura che riprenda la forma di una foglia di tè, capace di moltiplicarsi specchiandosi nel lago e di "mimetizzarsi" nel verde.



Figura 4 - Foglie del tè

Data la conformazione dell'area però, una sola foglia non è abbastanza per fare da copertura, o almeno raggiungerebbe delle dimensioni ragguardevoli perdendo di leggerezza e di slancio, caratteristiche che invece devono rimanere nel concept. A questo punto si è pensato di moltiplicare il numero di foglie presenti nella copertura, buttando giù i primi sketch di presentazione.

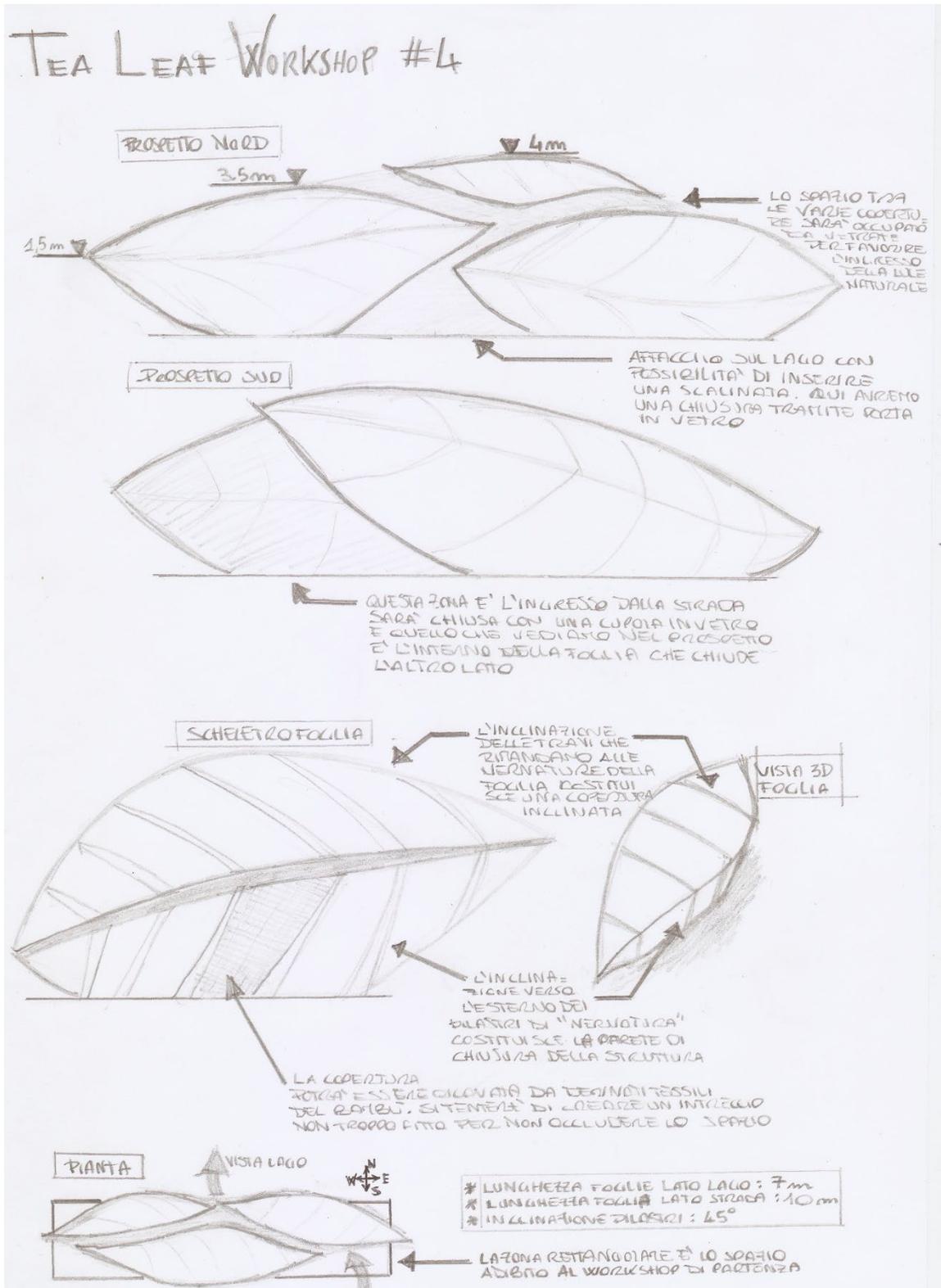


Figura 5 - Primo Sketch del Padiglione del Tè

Come si può vedere nei disegni precedenti, l'idea è quella di realizzare un sistema di travi e pareti in bambù incurvati a seguire le venature di una foglia del tè. Si dispongono un totale di tre foglie che fungeranno da copertura e parete allo stesso tempo. Infatti, in ciascun elemento "foglia" si può distinguere una metà della lamina disposta in maniera sub verticale a formare una parete e l'altra metà disposta in maniera sub orizzontale a formare un elemento di copertura. Mentre le venature della foglia sono rappresentate dalle aste in bambù, per rappresentare la lamina si è scelto di utilizzare un telo in tessuto realizzato in fibra di bambù impermeabilizzata di colore verde.

In merito alla collaborazione del bambù con un materiale diverso e più moderno si è pensato di disporre degli elementi in vetro nei punti di distacco tra una foglia e l'altra, in modo tale da lasciar entrare la luce naturale nell'ambiente e creare al contempo un gioco di riflessi con il lago.

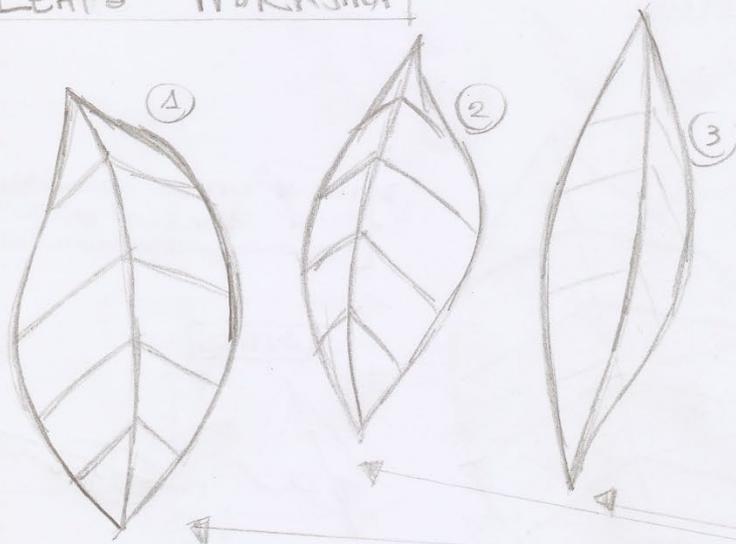
Il primo schizzo appena illustrato presenta però dei problemi che non vanno incontro agli obiettivi prefissati:

- 1) La struttura delle foglie, con le pareti che sono "incastrate" nel terreno, costituisce un ostacolo alla vista degli ospiti che in questo modo, per godere del panorama del lago sono costretti ad uscire dalla struttura;
- 2) Il vetro così disposto presenta differenti curvature con un'elevata difficoltà realizzativa, questo comporterebbe una lievitazione dei prezzi di realizzazione e non garantirebbe comunque l'ingresso di un quantitativo adeguato di luce naturale.

Preso atto di queste problematiche sarà necessario per porvi rimedio modificare la struttura, conferendole un nuovo significato architettonico. Sarà necessario "sollevare" le coperture a foglia per aprire la visuale sul lago e di conseguenza tentare di simulare l'effetto di "foglie del tè trasportate dal vento" in modo tale da conferire non solo funzionalità ma anche leggerezza alla struttura. Per quanto riguarda la coesistenza con un materiale moderno, invece, si decide di realizzare una struttura poligonale interamente in vetro e di renderla indipendente dalla copertura citata in precedenza.

La combinazione di questi due elementi deve riuscire a garantire l'effetto di "foglie trasportate dal vento che si posano a protezione di una struttura diamantata". Per favorire questo effetto sarà necessario che i pilastri seguano in qualche modo l'andamento delle venature che li sovrastano, in modo tale da dare continuità alla struttura. Di seguito si riporta un primo sketch che ritrae l'idea ipotizzata sinora.

TEA LEAFS WORKSHOP

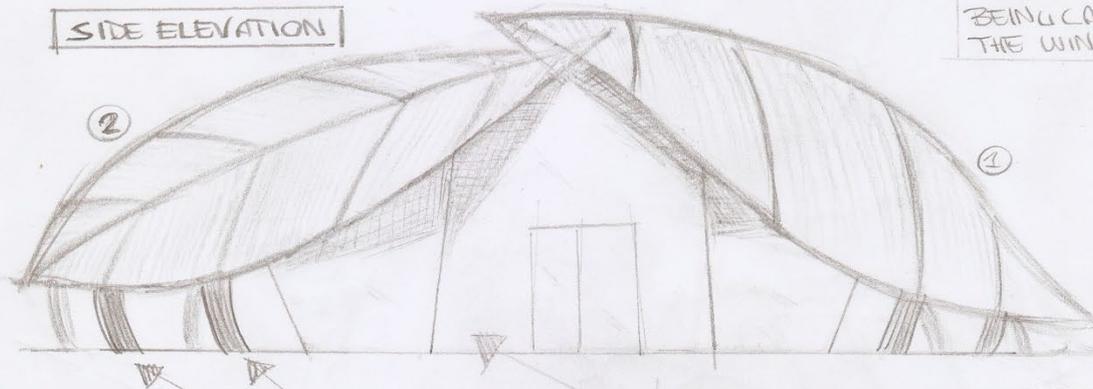


AN EXAMPLE OF ORGANIC ARCHITECTURE TO RESISTIBLE THE LEAF'S MOVEMENT IN THE WIND. THE STRUCTURE IS A GLASS POLYGON WITH A BAMBOO COVER MADE OUT THREE LEAVES

BAMBOO COVERAGE

COMBINATION OF 3 LEAFS THAT GIVES THE EFFECT OF BEING CARRIED BY THE WIND

SIDE ELEVATION



THE TEA WORKSHOP WILL BE DELIMITED BY GLASS WALLS ARRANGED AT DIFFERENT ANGLES TO CREATE A POLYGONAL STRUCTURE

COLUMNS THAT CARRY THE LEAVES COVERAGE ARE ARRANGED IN AN IRREGULAR WAY FOLLOWING THE "LEAF'S" VEINS"

ROOFTOP PLAN

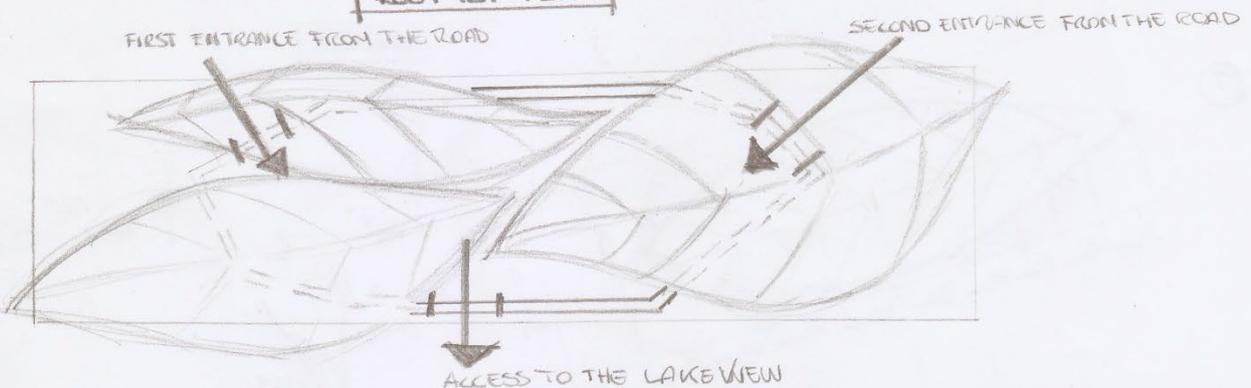
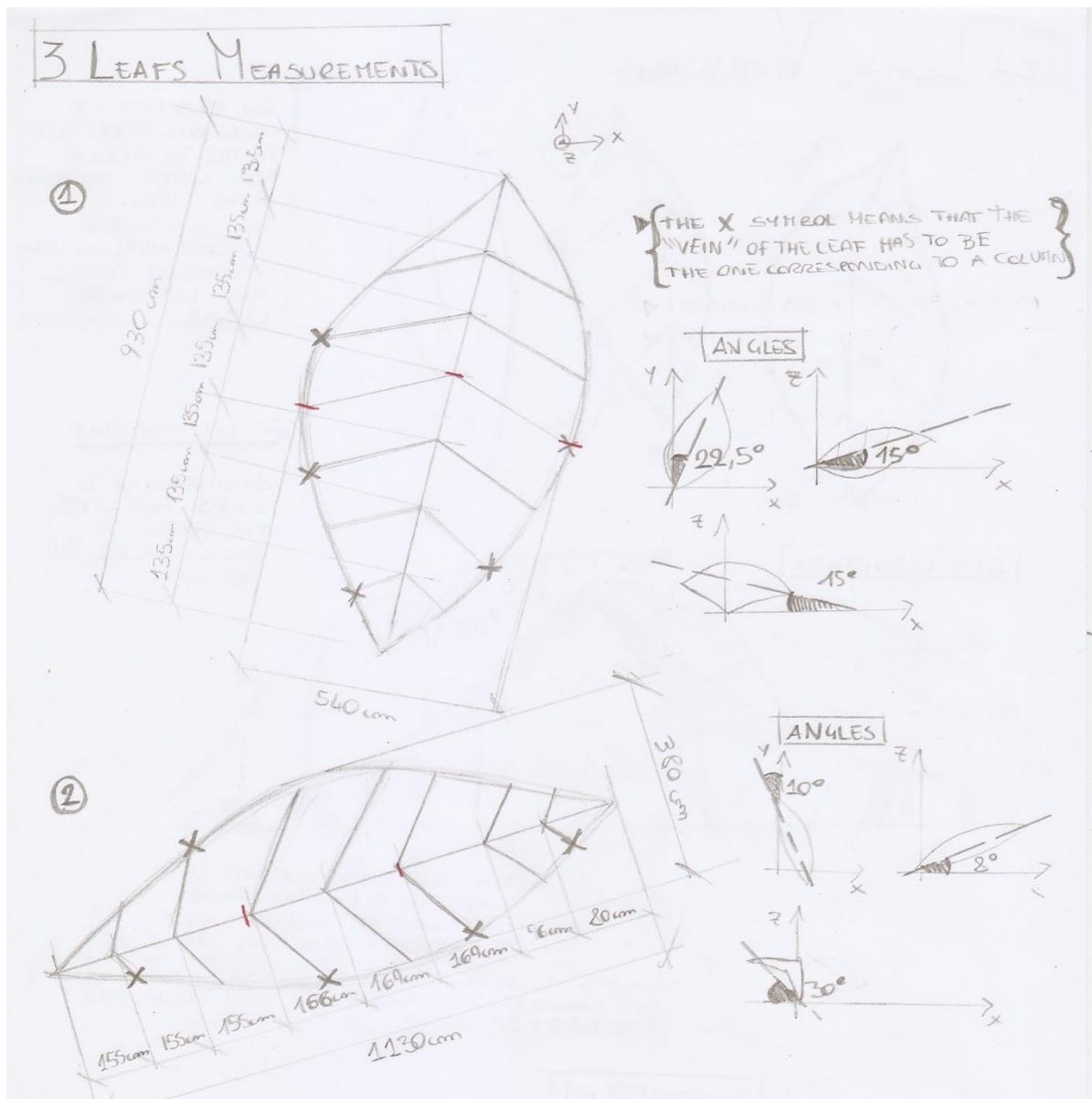


Figura 6 - Secondo Sketch Padiglione del Tè

Nonostante si noti una netta evoluzione rispetto all'idea di partenza, anche questo sketch presenta dei problemi, in particolare riguardo la struttura in vetro. Infatti, l'uscita del padiglione è centrata e simmetrica, facendogli perdere organicità. Di conseguenza, si pensa di spostare lungo i lati corti l'uscita e l'ingresso del padiglione, decentrando la struttura poligonale rispetto al centro dell'area di progetto. Questa operazione andrà a creare uno spazio esterno coperto, in grado di ospitare il pubblico e permettere di degustare il proprio tè ammirando il lago.

Definito questo ultimo particolare si procede a definire la geometria e le dimensioni delle tre foglie di copertura di cui si riporta uno sketch di seguito, contrassegnando la posizione dei pilastri con delle "x" in corrispondenza delle venature. Per costituire una struttura più organica e meno "artificiale" possibile si è pensato di rendere le tre foglie abbastanza diverse tra loro in termini di dimensioni ed inclinazione.



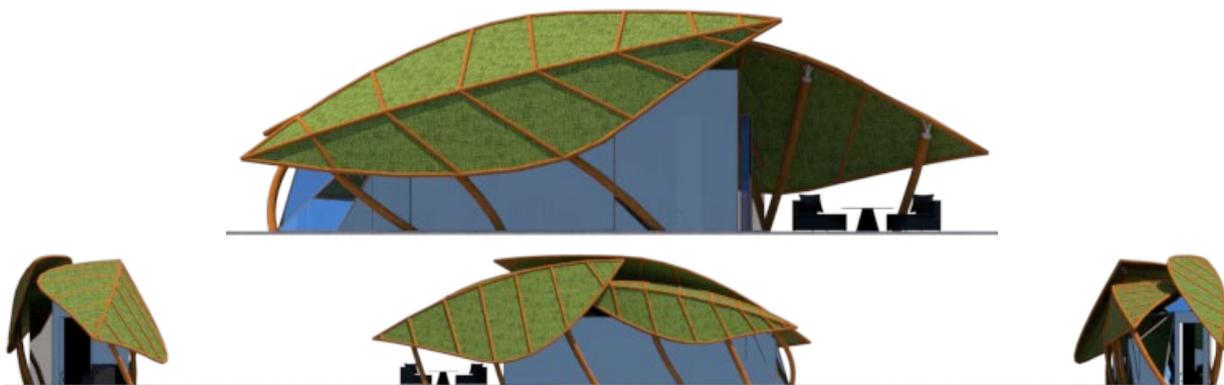


Figura 10 - Modello SketchUp Definitivo - Viste

Alla luce delle immagini appena illustrate si può notare come l'elemento in vetro sembri protetto dalla copertura immaginata nel nostro concept e come le foglie siano "libere" e "leggere" grazie alla scelta di utilizzare pilastri che abbiano una continuità con le aste che rappresentano le venature oblique. Nel caso specifico dei pilastri, infatti, si è scelto di utilizzare delle forme curvilinee per sottolineare il movimento immaginario a cui sono sottoposte le foglie nel vento e, come preventivato, non si è fatto uso di pareti che ostruiscano la vista agli ospiti. Si nota infatti come gli unici elementi "a chiusura" del padiglione siano le pareti in vetro che in questo caso si ipotizza essere riflettente in modo tale da creare un gioco di riflessi con lo specchio d'acqua sottostante.

Nelle viste laterali si illustrano inoltre gli ingressi al padiglione, la cui larghezza è stata proporzionata per l'ingresso di una sola persona. Questa scelta si deve al fatto che si vuole rendere la zona interna più "protetta" e "privata" consentendo l'accesso ad una sola persona alla volta. Si può notare anche lo spazio esterno dedicato alle stagioni più miti.

Si riportano prospetti e pianta relativi alla struttura ipotizzata sinora, con i valori riportati in metri.

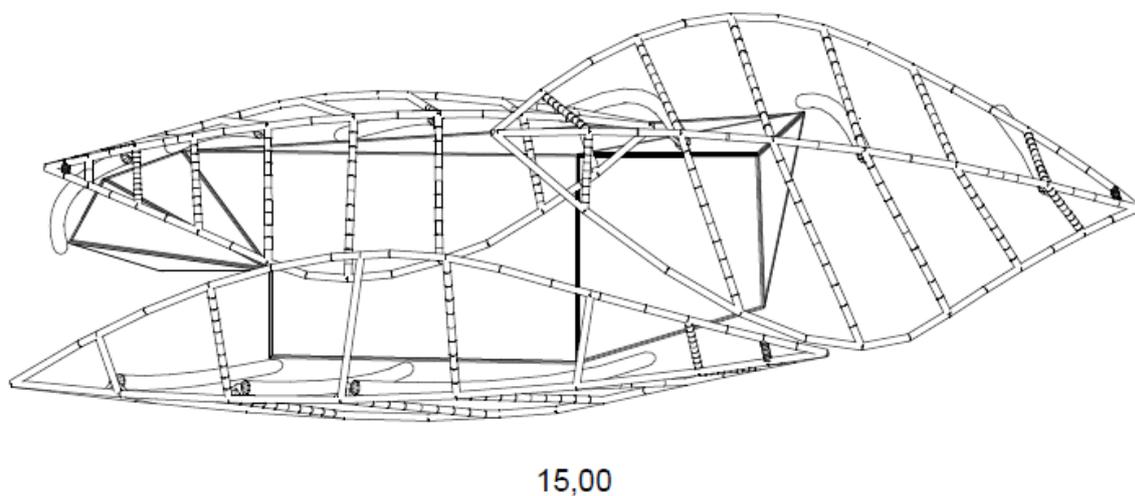


Figura 11 - Pianta della copertura

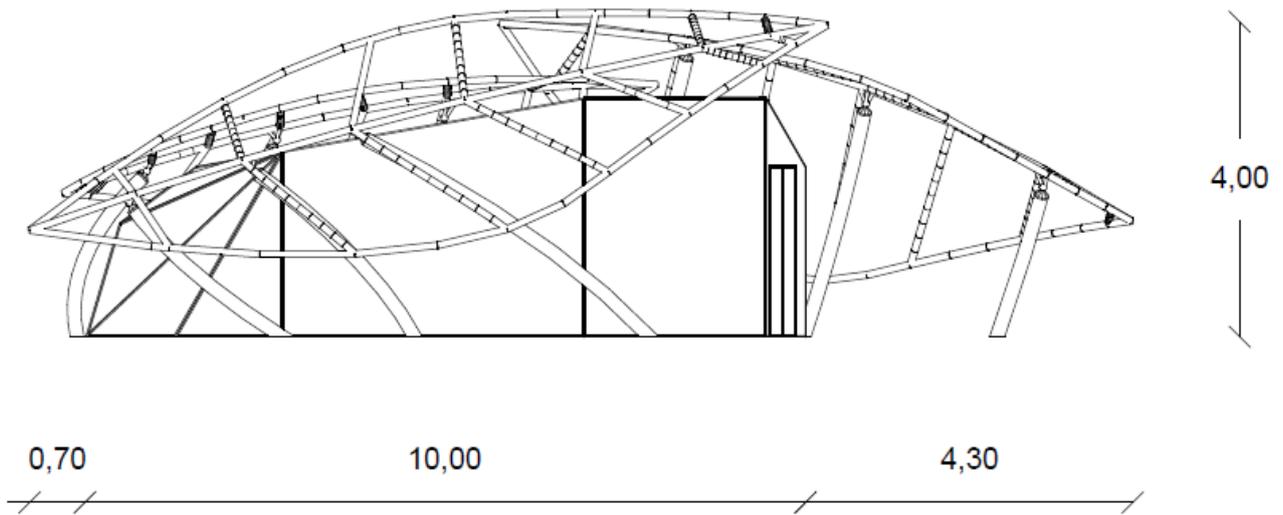


Figura 12 - Prospetto Nord

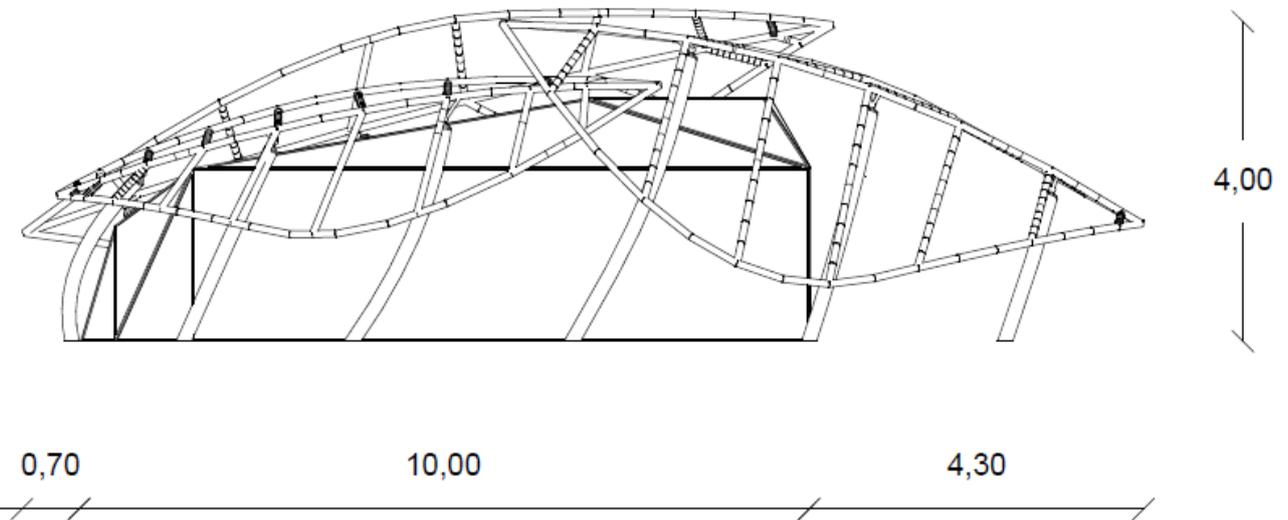


Figura 13 - Prospetto Sud

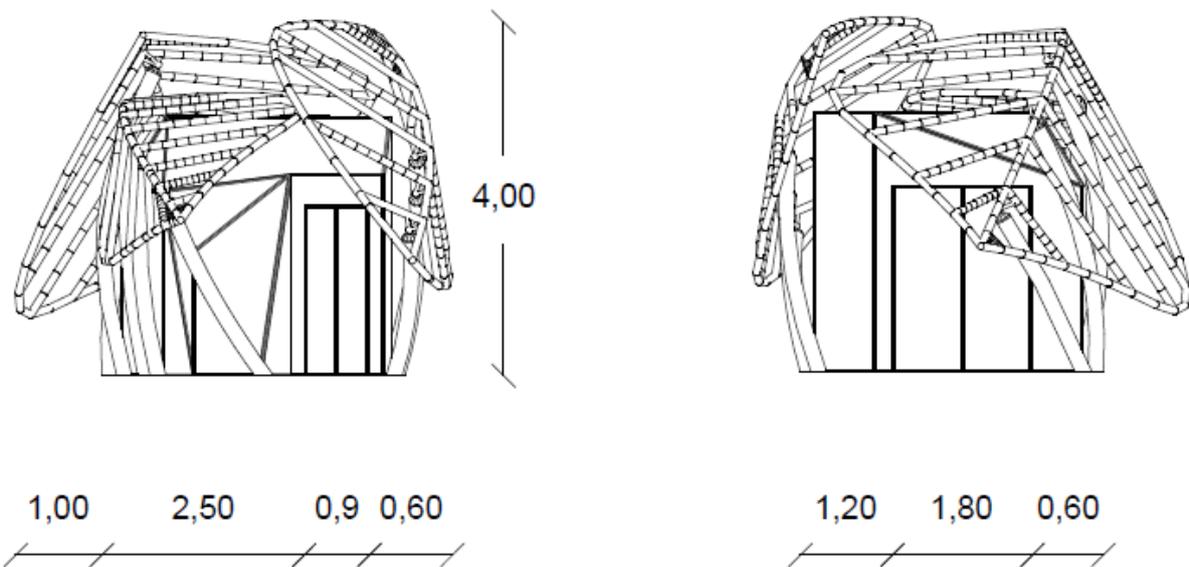


Figura 14 - Prospetti Est e Ovest

Una volta definite le geometrie e dimensioni definitive del modello si procede ad organizzare il file necessario alla presentazione del progetto. Infatti, la competizione richiede uno storyboard del concept realizzato, che raccolga i tratti salienti del progetto attraverso l'utilizzo di render grafici e di immagini relative al processo creativo. Nel caso del padiglione in questione si è deciso innanzitutto di riportare le immagini relative all'evoluzione del modello riportate in precedenza, fino alla definizione di prospetti e pianta. In aggiunta, si riporta un esploso 3d del modello che permetta di comprendere meglio la struttura, sottolineando soprattutto il fatto che le tre foglie sono indipendenti e non collegate tra loro. Si riporta inoltre un render 3d che sottolinei il rapporto del concept con lo specchio d'acqua adiacente.

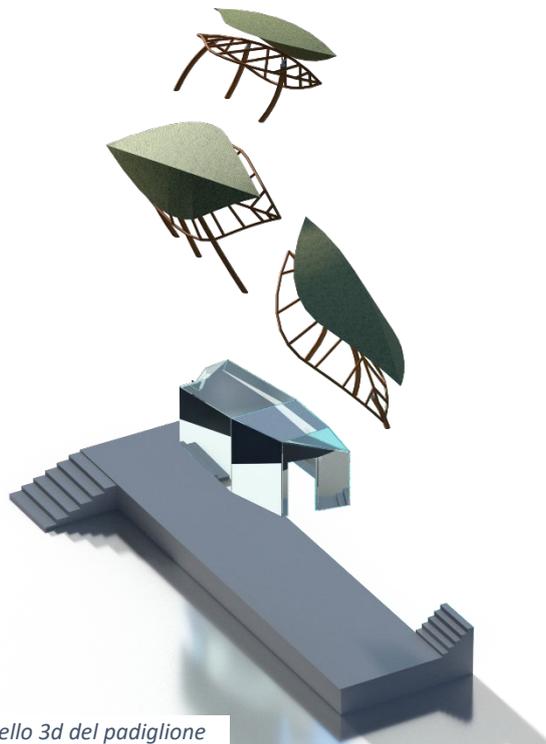


Figura 15 - Esploso del modello 3d del padiglione

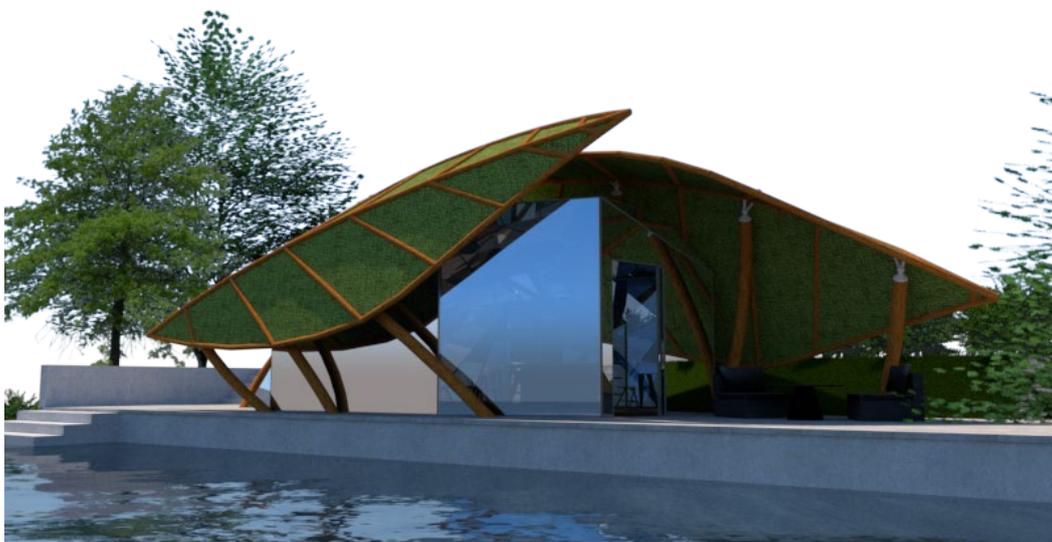


Figura 16 - Render del padiglione con riflesso sul lago

In ultimo si riporta lo storyboard completo presentato alla commissione con la precisazione che, per scelta stilistica, si è scelto di tralasciare l'ambientazione originale e di utilizzare uno spazio più neutro in modo da far risaltare il lavoro fatto e le forme delle foglie stesse. Il titolo scelto per il lavoro è *“Tea Leaves in The Wind Pavilion”*, associando la naturalezza delle forme pensate alla frase di Einstein:

“Tutto ciò che puoi immaginare la natura l'ha già creato”

La descrizione allegata allo storyboard recita:

“Prendendo ispirazione da questa famosa citazione di Albert Einstein, abbiamo deciso di immaginare il padiglione del Laboratorio del tè prendendo in prestito forme già esistenti in natura. Lo scopo era quello di progettare una struttura “levitante”, quale miglior esempio di questo comportamento delle foglie che fluttuano nell'aria?”

La struttura è stata concepita come una composizione binomiale di un tetto in bambù composto da tre elementi modellati su una foglia di tè e una struttura chiusa in vetro poligonale. La struttura a forma di diamante permette di gustare una tazza di tè al chiuso, ma comunque immersi nella natura. Il materiale è stato scelto in modo da far scomparire la struttura sottostante ed evidenziare le foglie fluttuanti.

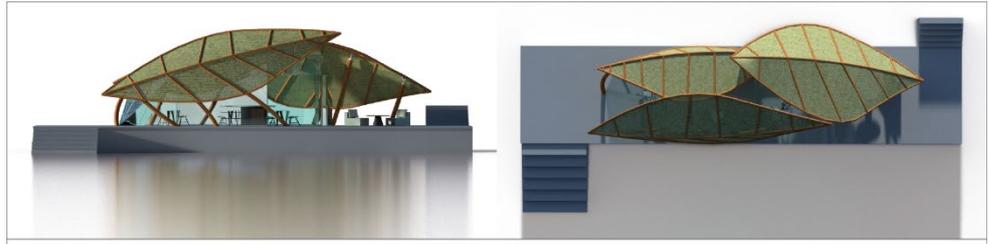
Ogni foglia è stata costruita con una cornice di bambù che imita le venature di una foglia, la lamina è stata immaginata con un tessuto in fibra di bambù impermeabile. Per sollevare ogni copertura sono state scelte colonne curve che seguono la curvatura delle venature in modo da dare un senso di continuità e protezione alla vetrata.

Oltre alla struttura interna abbiamo previsto un posto a sedere all'aperto sotto la foglia più grande, orientata a sud-ovest, per poter ammirare il lago senza ostacoli.”

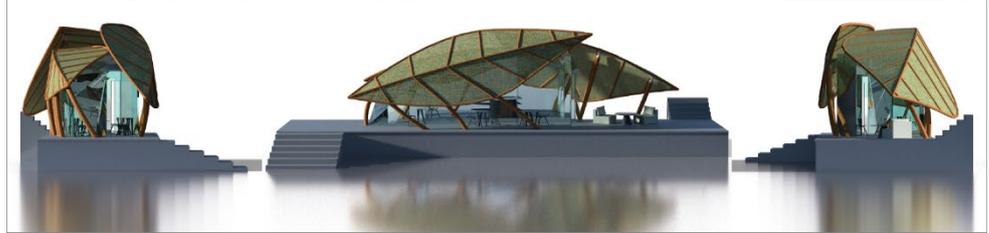
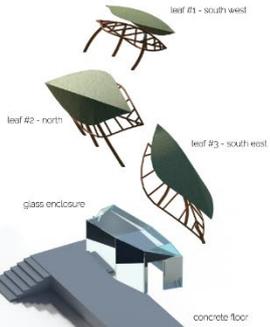
Si sottolinea che la struttura del documento è fatta in modo da favorire la comprensione del procedimento progettuale a partire dalle immagini in alto a sinistra, che rappresentano lo stato di fatto della design area 4a, si procede poi con il processo creativo e dei render dei prospetti. La figura principale si trova nella parte inferiore del foglio e permette di intravedere il riflesso della struttura costituendo al contempo uno spazio dedicato alla descrizione riassuntiva del concept.

I render realizzati in questa sezione sono realizzati interamente utilizzando il programma di grafica Adobe Dimension.

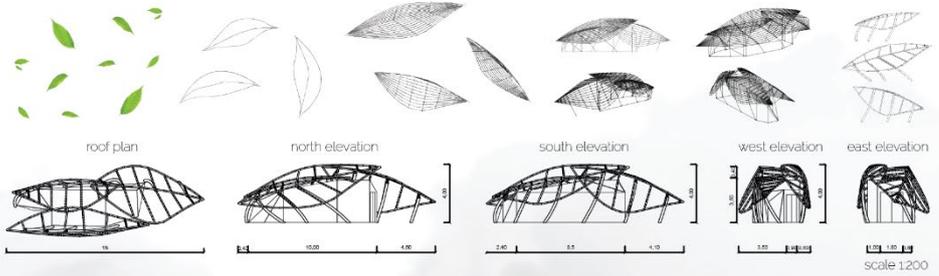
current state



3D exploded view



creative process



"Tea Leaves In The Wind" Pavilion

design area 4/tea workshop



"Everything you can imagine nature has already created."

Drawing inspiration from this famous quote by Albert Einstein, we decided to envision the Tea workshop pavilion borrowing shapes already existing in nature.

The purpose we were after was to design a "levitating" structure, what better example of this behavior than leaves floating in the air?

The structure was conceived as a binomial composition of a bamboo roof composed of three elements modeled after a tea leaf and a polygonal glass enclosure.

The diamond-like structure makes it possible to enjoy a cup of tea indoors while being surrounded by nature, the material was chosen in order to make the underlying

structure disappear and highlight the floating leaves

Each leaf was constructed with a bamboo frame that mimics a leaf's veins, lamina was imagined with a waterproof bamboo fiber textile.

To lift each leaf, curved columns that follow veins' curvature were chosen in order to give a sense of continuity and protection of the glass enclosure.

In addition to the indoor structure we provided an outdoor seating under the biggest of the leaves, oriented south-west, to be able to admire the lake without obstacles

Figura 16 - Storyboard definitivo

3. Introduzione al Calcolo Strutturale del Padiglione del Tè

Nel seguente capitolo sarà trattato il calcolo strutturale del concept di padiglione in bambù. Ai pilastri viene associata una determinata inclinazione in modo tale da garantire la sovrapposizione con gli elementi di venatura che costituiscono la copertura e mantenere la continuità generata con il modello precedente. Inoltre, vengono inseriti dei pilastri aggiuntivi, disposti nella mezzeria delle travi congiungenti i pilastri preesistenti. Di seguito si riportano delle immagini che raffigurano la nuova disposizione, riassumendo le modifiche fatte sinora. I pilastri assumono questa inclinazione rispetto alla verticale:

- 33° rispetto alla verticale per i pilastri della Foglia #1 (orientata verso Nord);
- 30° rispetto alla verticale per i pilastri della Foglia #2 (orientata verso Sud Ovest);
- 15° rispetto alla verticale per i pilastri della Foglia #3 (orientata verso Sud Est).

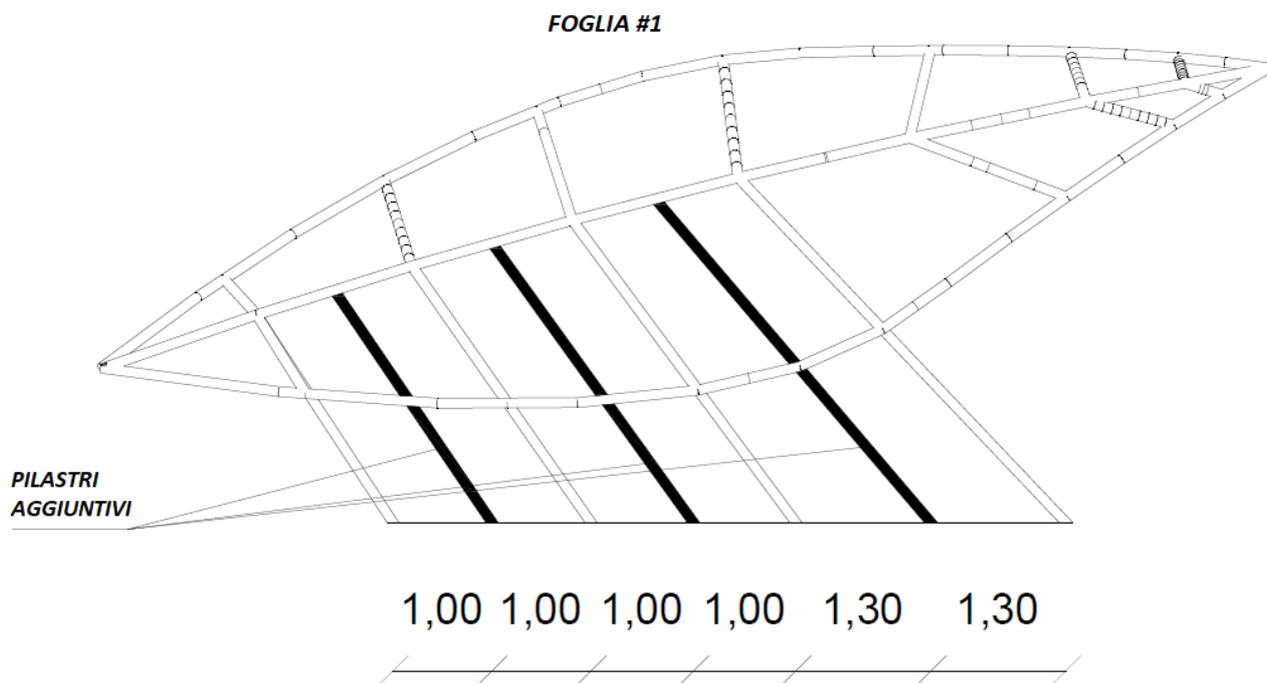


Figura 17 - Prospetto della Foglia #1 con pilastri aggiuntivi

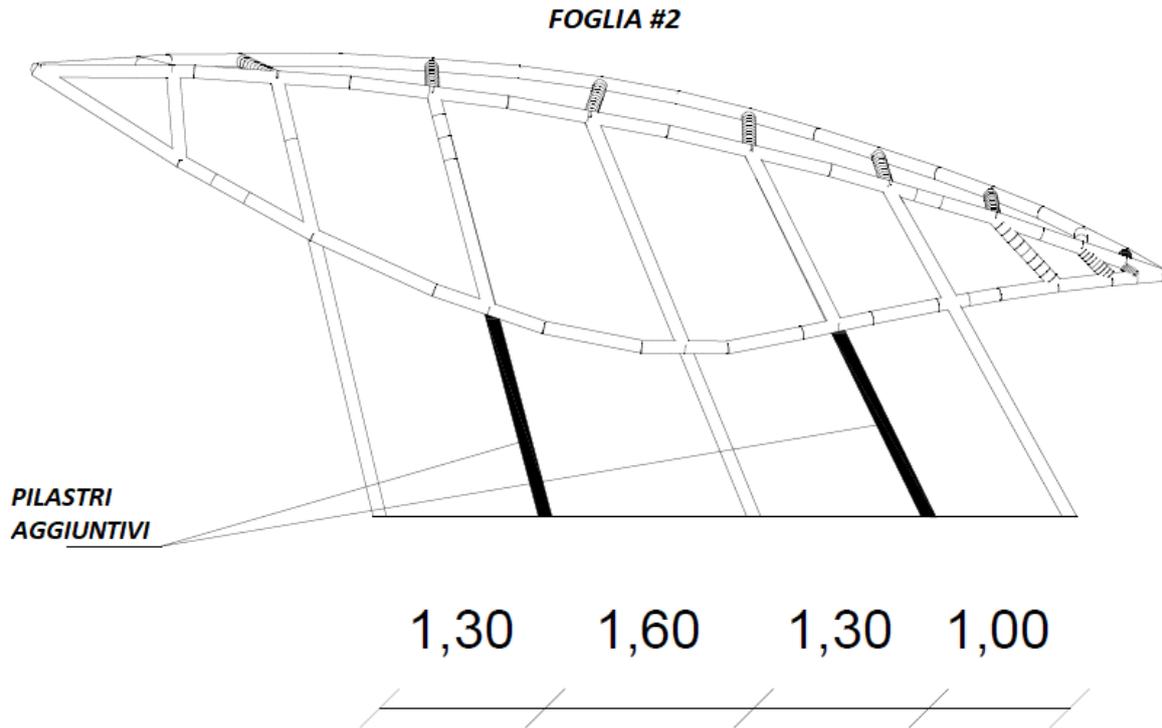


Figura 18 - Prospetto della Foglia #2 con pilastri aggiuntivi

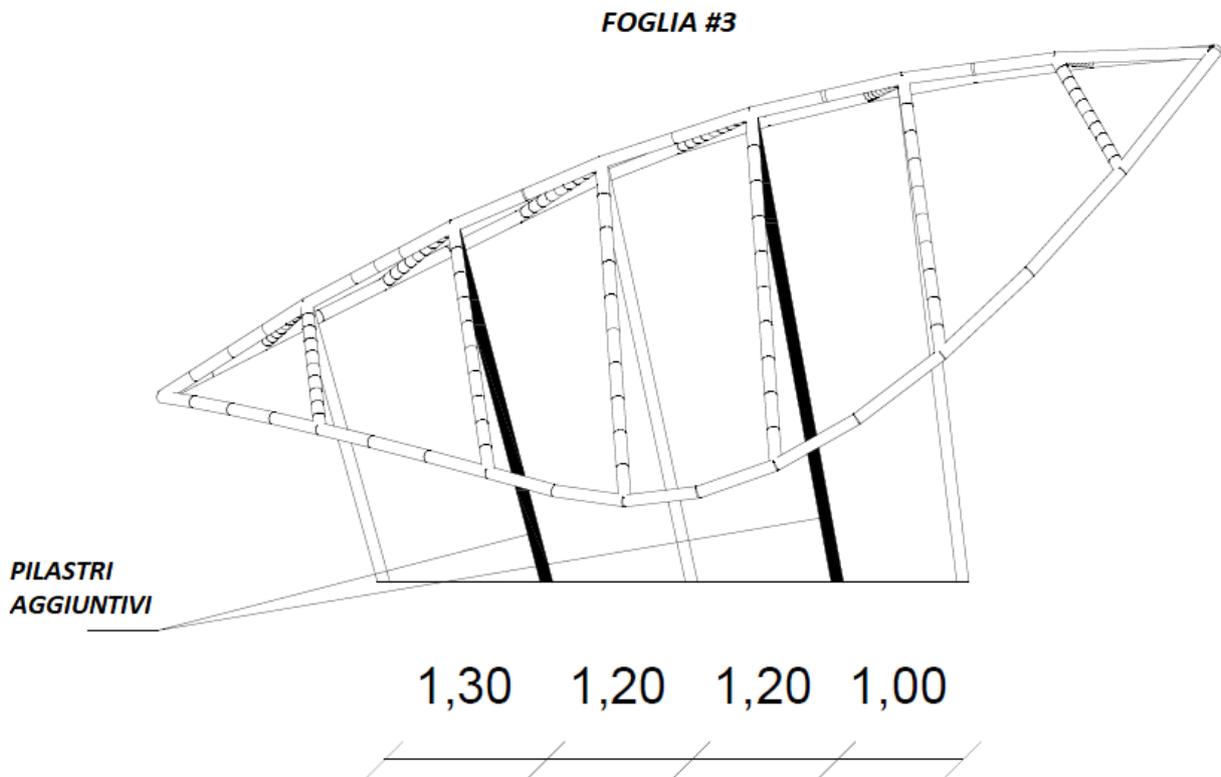


Figura 19 - Prospetto della Foglia #3 con pilastri aggiuntivi

Una volta chiarificata questa modifica strutturale si può passare a definire una numerazione ufficiale per gli elementi strutturali. Avremo due categorie di elementi, travi e pilastri. Gli elementi trave saranno suddivisi in:

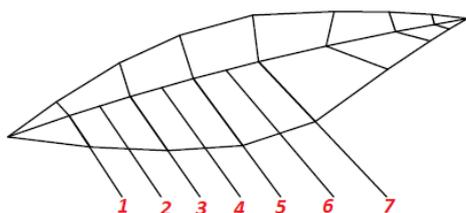
- Principali → le travi curve centrali che costituiscono il dorso della foglia e le travi di bordo che ne rappresentano le estremità laterali;
- Secondarie → le travi rettilinee disposte perpendicolarmente alle principali.

Si sottolinea che le travi secondarie non avranno un carico diretto ma ripartiranno quello ricevuto dalle travi principali, in quanto si pensa di collegare il telo in fibra di bambù solo a queste ultime, scaricando i carichi con un funzionamento simile a quello dei travetti in un solaio.

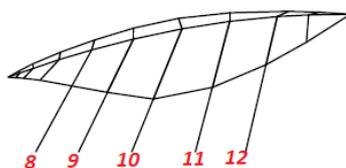
Di seguito si riportano nuovamente i prospetti delle foglie, questa volta destinati ad individuare la numerazione degli elementi strutturali.

NUMERAZIONE PILASTRI

FOGLIA #1



FOGLIA #2



FOGLIA #3

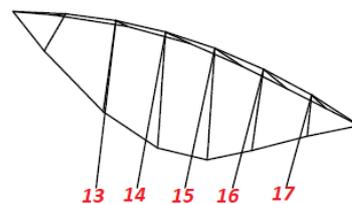
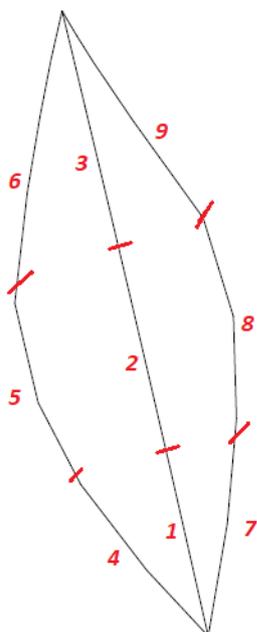


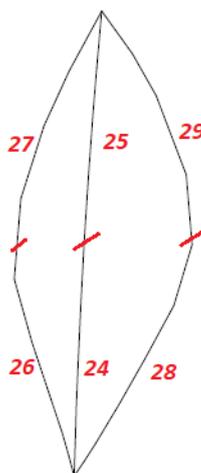
Figura 20 - Numerazione Pilastri

NUMERAZIONE TRAVI PRINCIPALI

FOGLIA #1



FOGLIA #2



FOGLIA #3

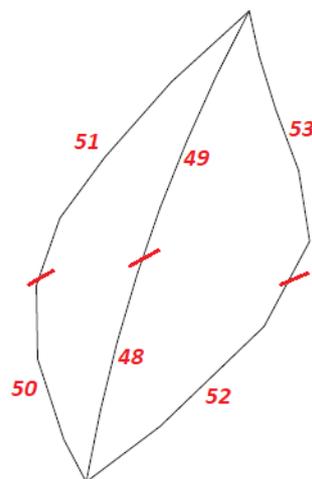


Figura 21 - Numerazione Travi Principali

NUMERAZIONE TRAVI SECONDARIE

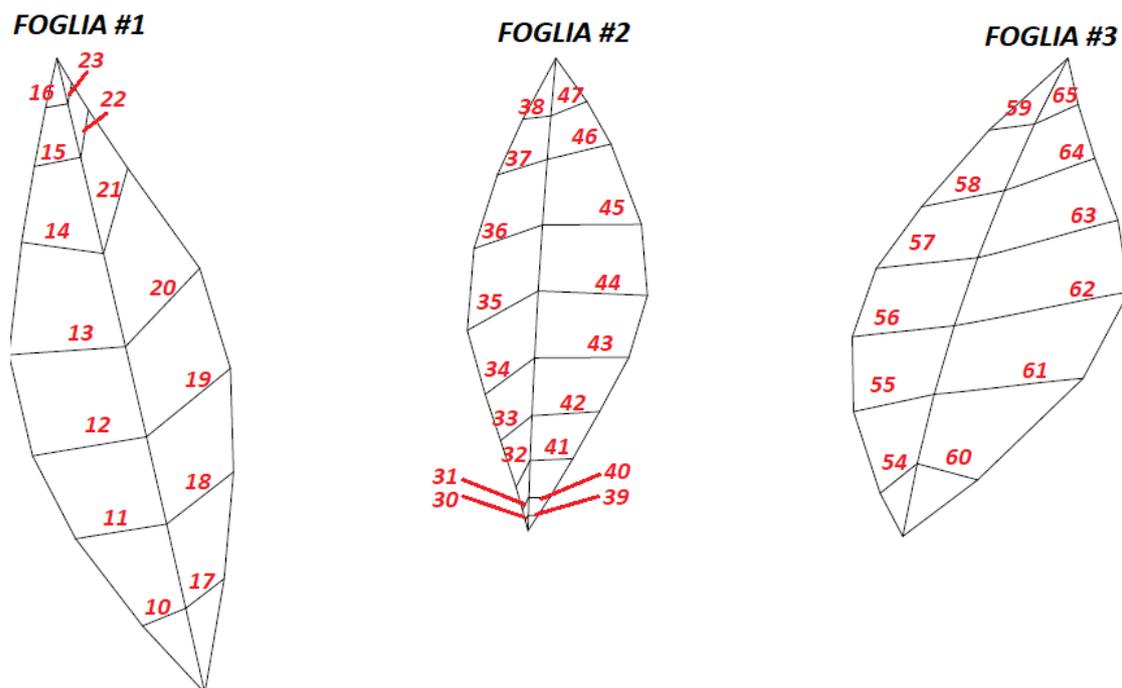


Figura 22 - Numerazione Travi Secondarie

Per completezza si riporta la lunghezza di ciascun elemento classificato sinora.

LUNGHEZZA TRAVI										
LEAF #1	L1	3130	L8	3690	L15	880	L22	870	[mm]	
	L2	3280	L9	4460	L16	410	L23	360		
	L3	5220	L10	940	L17	930	[mm]			
	L4	3520	L11	1790	L18	1610				
	L5	3480	L12	2230	L19	2040				
	L6	5400	L13	2220	L20	2010				
	L7	3920	L14	1540	L21	1600				
LEAF #2	L24	4430	L29	5290	L34	1900	L39	140	L44	1860
	L25	4120	L30	180	L35	2230	L40	330	L45	1680
	L26	4660	L31	390	L36	2040	L41	690	L46	1220
	L27	4760	L32	830	L37	1350	L42	1000	L47	670
	L28	3670	L33	1330	L38	800	L43	1450	[mm]	
LEAF #3	L48	5180	L53	6370	L58	1740	L63	3250	[mm]	
	L49	4290	L54	1090	L59	900	L64	2470		
	L50	5990	L55	2620	L60	1230	L65	1290	[mm]	
	L51	4700	L56	3120	L61	2650				
	L52	4990	L57	2570	L62	3350				

LUNGHEZZA PILASTRI			
LEAF #1	L1	2350	[mm]
	L2	2660	[mm]
	L3	2970	[mm]
	L4	3270	[mm]
	L5	3570	[mm]
	L6	4040	[mm]
	L7	4540	[mm]
LEAF #2	L8	2830	[mm]
	L9	3050	[mm]
	L10	3230	[mm]
	L11	3290	[mm]
	L12	3380	[mm]
LEAF #3	L13	4100	[mm]
	L14	3860	[mm]
	L15	3480	[mm]
	L16	2990	[mm]
	L17	2350	[mm]

Prima di procedere alla definizione dei materiali ed al calcolo vero e proprio risulta necessario fare delle precisazioni:

- 1) Il calcolo considera le tre foglie separatamente, in quanto le tre coperture non sono collegate tra loro ed hanno un funzionamento “a mensola”;
- 2) La fondazione non è oggetto del calcolo in questione, si ipotizza un terreno rigido ed un sistema di fondazione “rialzata” nella quale i pilastri vanno ad innestarsi in elementi in calcestruzzo fuoriuscenti dal basamento;
- 3) La struttura in vetro poligonale non è oggetto del calcolo, essendo questo lavoro di tesi dedicato al bambù, e si immagina di inserire una struttura prefabbricata;
- 4) Si ipotizza la costruzione del padiglione nel comune di Guardialfiera, in provincia di Campobasso (capoluogo della regione Molise), quindi tutti i calcoli dei carichi variabili faranno riferimento a questa località;
- 5) La prima valutazione delle sollecitazioni avverrà considerando la presenza di un unico culmo per asta, in modo da valutare quanti ne siano necessari per resistere;
- 6) Le norme tecniche di riferimento per il calcolo sono riassunte di seguito:
 - *NTC 2018* – Norme tecniche per le costruzioni;
 - *ISO/DIS 22156:2020* – Bamboo — Structural design;

- *CNR-DT 207/2008* – Istruzioni per la valutazione delle azioni e degli effetti del vento sulle costruzioni;
- *BS ISO 19624:2018* – Bamboo structures — Grading of bamboo culms — Basic principles and procedures;
- *ISO/DIS 12122-1* – Timber structures — Determination of Characteristic values — Part 1.

3.1. Definizione Proprietà Bambù

Il materiale principe di questo lavoro di tesi è il bambù, ed esso verrà utilizzato facendo riferimento a due specie:

- *Phyllostacis Edulis*, detto anche Moso, viene coltivato in Italia e si è adattato perfettamente al nostro clima, nonostante sia originario della Cina. Per questa specie si considerano diametro massimo $D=75\text{mm}$ e spessore della corona della sezione $s=7,5\text{ mm}$;
- *Guadua Angustifolia*, specie di bambù tropicale molto diffusa in tutto il mondo ma coltivato principalmente in Colombia. Per questa specie si considerano diametro massimo $D=150\text{mm}$ e spessore della corona della sezione $s=15\text{ mm}$;

In entrambi i casi si considera la rimozione dei primi 50 cm dal basamento della pianta e degli ultimi 50 cm in sommità. Si considera inoltre una lunghezza massima per i culmi pari a 6 m e per questo motivo è stato necessario suddividere le travi principali come illustrato in precedenza.

Di seguito si procede a caratterizzare moduli elastici e resistenze rispetto a diverse tipologie di azioni per entrambe le specie di bambù trattate, facendo riferimento alle normative *ISO/DIS 22156:2020*, *ISO/DIS 12122-1*.

3.1.1. Phyllostacis Edulis

La prima proprietà analizzata è la densità del materiale, il cui valore è pari a 8,11 kN/m³ (Donini G., 2020).

Per caratterizzare meccanicamente questo materiale sarà necessario determinarne i valori di progetto di Resistenze e Moduli elastici. Per prima cosa si espongono i calcoli effettuati per la valutazione delle resistenze di progetto f_d .

La formula di riferimento è estrapolata dalla *ISO/DIS 22156:2020* e prevede quanto segue:

$$f_d = f_k * C_R * C_{DF} * C_T * \left(\frac{1}{FSm}\right)$$

In cui:

- C_R è il fattore di ridondanza, posto uguale ad 1,1 nel caso di elementi multiculmo e 0,9 per elementi a singolo culmo;
- C_{DF} è il fattore di durata del carico, assunto pari a 0,55 per carichi permanenti, 0,65 per carichi di breve durata e 0,85 per carichi istantanei come neve, vento o fuoco (ISO/DIS 22156:2020, Capitolo 6, Paragrafo 6.3, Tabella 6.1);
- C_T tiene conto della temperatura di servizio e sarà pari ad 1 nel nostro caso dato che le temperature previste nell'area del comune di Guardialfiera (CB) non superano i 38°C;
- FSm è un coefficiente dipendente dal tipo di carico:
 - Trazione parallela alle fibre $f_{t,0} \rightarrow FSm=2$;
 - Trazione perpendicolare alle fibre $f_{t,90} \rightarrow FSm=4$;
 - Flessione parallela alle fibre $f_{m,0} \rightarrow FSm= 2$;
 - Flessione perpendicolare alle fibre $f_{m,90} \rightarrow FSm= 2$;
 - Compressione $f_{c,0} \rightarrow FSm=2$;
 - Taglio $f_v \rightarrow FSm=4$.
 - Nel caso in cui si stia ragionando in ambito sismico FSm assume dei valori differenti, riassunti nella seguente tabella

	f_c	f_t	f_m	f_v	f_{t90}	f_{m90}
FSm	1.5	1.5	1.5	3.0	3.0	1.5

- f_k è la resistenza caratteristica al frattile del 5% con 75% di confidenza. Per quanto riguarda i valori di queste resistenze si farà riferimento a quanto riportato nel documento di tesi “Giovanni

Donini, “Progettazione strutturale di un’abitazione in bambù italiano: Rivisitazione di una piccola costruzione realizzata in Costa Rica con bambù tropicale”, 2020” e tali valori si riportano di seguito:

VALORI CARATTERISTICI RESISTENZA BAMBU MOSO		
Trazione Parallela alle Fibre - ft,0k	98,4	[MPa]
Compressione Parallela alle Fibre - fc,0k	49,7	[MPa]
Flessione Parallela alle Fibre - fm,0k	65,8	[MPa]
Flessione Ortogonale alle Fibre - fm,90k	17,2	[MPa]
Taglio - fvk	7,9	[MPa]

A seguito dell’applicazione della formula si riportano i valori di resistenza calcolati per le tre classi di carico, *Permanente, Breve ed Istantanea*:

VALORI DI PROGETTO RESISTENZA BAMBU MOSO							RES. DI PROGETTO SISMICA		
	CR	CT	CDF	FSM			FSM		
ft,0d	1,1	1	0,85	2	46,0	[MPa]	1,5	61,336	[MPa]
	1,1	1	0,65	2	35,2	[MPa]	X		
	1,1	1	0,55	2	29,8	[MPa]			
fc,0d	1,1	1	0,85	2	23,2	[MPa]	1,5	30,980	[MPa]
	1,1	1	0,65	2	17,8	[MPa]	X		
	1,1	1	0,55	2	15,0	[MPa]			
fm,0d	1,1	1	0,85	2	30,8	[MPa]	1,5	41,015	[MPa]
	1,1	1	0,65	2	23,5	[MPa]	X		
	1,1	1	0,55	2	19,9	[MPa]			
fm,90d	1,1	1	0,85	2	8,0	[MPa]	1,5	10,721	[MPa]
	1,1	1	0,65	2	6,1	[MPa]	X		
	1,1	1	0,55	2	5,2	[MPa]			
fvd	1,1	1	0,85	4	1,8	[MPa]	2	3,693	[MPa]
	1,1	1	0,65	4	1,4	[MPa]	X		
	1,1	1	0,55	4	1,2	[MPa]			

Il prossimo passo è la definizione dei valori di progetto per quanto riguarda i moduli elastici. Per far ciò si attinge dalla normativa *ISO/DIS 12122-1* ottenendo la formula per il calcolo delle E di progetto:

$$E_d = E_k * C_{DE} * C_T$$

In cui:

- C_T tiene conto della temperatura di servizio e sarà pari ad 1 come visto nel calcolo precedente;

- C_{DE} è il fattore di durata del carico, assunto pari a 0,45 per carichi permanenti, 0,95 per carichi di breve durata e 1 per carichi istantanei come neve, vento o fuoco (ISO/DIS 22156:2020, Capitolo 6, Paragrafo 6.3, Tabella 6.5);
- E_k è il modulo elastico caratteristico al frattile del 5% con 75% di confidenza. I valori di riferimento si riportano di seguito (Donini G.,2020):

VALORI MODULI ELASTICI BAMBU MOSO		
Trazione Parallela alle Fibre - $E_{t,0,mean,0.75}$	14,61	[GPa]
Compressione Parallela alle Fibre - $E_{c,0,mean,0.75}$	13,26	[GPa]
Flessione Parallela alle Fibre - $E_{m,0,mean,0.75}$	13	[GPa]
Flessione Ortogonale alle Fibre - $E_{m,90,mean,0.75}$	3,04	[GPa]
Taglio - $G_{mean,0.75}$	2,52	[GPa]

A seguito dell'applicazione della formula si riportano i valori di resistenza calcolati per le tre classi di carico, *Permanente*, *Breve* ed *Istantanea*:

VALORI DI PROGETTO MODULI ELASTICI BAMBU MOSO				
	CT	CDE		
$E_{t,0d}$	1	1	14,61	[GPa]
	1	0,95	13,88	[GPa]
	1	0,45	6,57	[GPa]
$E_{c,0d}$	1	1	13,26	[GPa]
	1	0,95	12,6	[GPa]
	1	0,45	5,97	[GPa]
$E_{m,0d}$	1	1	13	[GPa]
	1	0,95	12,35	[GPa]
	1	0,45	5,85	[GPa]
$E_{m,90d}$	1	1	3,01	[GPa]
	1	0,95	2,89	[GPa]
	1	0,45	1,38	[GPa]
G_d	1	1	2,52	[GPa]
	1	0,95	2,39	[GPa]
	1	0,45	1,13	[GPa]

3.1.2. Guadua Angustifolia

Nel caso della Guadua il valore di densità è pari a 7,58 kN/m³ (Denittiis M., 2019).

Il calcolo riguardante resistenze e moduli elastici di progetto è stato condotto alla stessa maniera, si riportano di seguito i valori caratteristici utilizzati (Banda M. e Salas E., 2001) ,ed i risultati dell'applicazione delle formule già illustrate al 3.1.1:

VALORI CARATTERISTICI RESISTENZA BAMBU GUADUA		
Trazione Parallela alle Fibre - ft,0k	42,13	[MPa]
Compressione Parallela alle Fibre - fc,0k	63,74	[MPa]
Flessione Parallela alle Fibre - fm,0k	72,6	[MPa]
Flessione Ortogonale alle Fibre - fm,90k	54,9	[MPa]
Taglio - fvk	8,46	[MPa]

VALORI DI PROGETTO RESISTENZA BAMBU GUADUA							RES. DI PROGETTO SISMICA		
	CR	CT	CDF	FSM			FSM		
ft,0d	1,1	1	0,85	2	19,7	[MPa]	1,5	26,261	[MPa]
	1,1	1	0,65	2	15,1	[MPa]	X		
	1,1	1	0,55	2	12,7	[MPa]	X		
fc,0d	1,1	1	0,85	2	29,8	[MPa]	1,5	39,731	[MPa]
	1,1	1	0,65	2	22,8	[MPa]	X		
	1,1	1	0,55	2	19,3	[MPa]	X		
fm,0d	1,1	1	0,85	2	33,9	[MPa]	1,5	45,254	[MPa]
	1,1	1	0,65	2	26,0	[MPa]	X		
	1,1	1	0,55	2	22,0	[MPa]	X		
fm,90d	1,1	1	0,85	2	25,7	[MPa]	1,5	34,221	[MPa]
	1,1	1	0,65	2	19,6	[MPa]	X		
	1,1	1	0,55	2	16,6	[MPa]	X		
fvd	1,1	1	0,85	4	2,0	[MPa]	2	3,955	[MPa]
	1,1	1	0,65	4	1,5	[MPa]	X		
	1,1	1	0,55	4	1,3	[MPa]	X		

Per quanto riguarda il taglio viene assunto come l'8% della resistenza a trazione (Cardenas Laverde M., 2008). Per quanto riguarda il valore medio del modulo a taglio G_{mean} non si ha materiale sufficiente a riguardo quindi si adotterà lo stesso modulo del Moso.

Questa problematica sottolinea come sia ancora ridotta la quantità di dati e studi nell'ambito del bambù, specialmente nello studio delle sue caratteristiche se sollecitato a taglio.

VALORI MODULI ELASTICI BAMBU GUADUA		
Trazione Parallela alle Fibre - Et,0,mean,0.75	18,63	[GPa]
Compressione Parallela alle Fibre - Ec,0,mean,0.75	18,04	[GPa]
Flessione Parallela alle Fibre - Em,0,mean,0.75	17,55	[GPa]
Flessione Ortogonale alle Fibre - Em,90,mean,0.75	17,55	[GPa]
Taglio - Gmean,0.75	2,52	[GPa]

VALORI DI PROGETTO MODULI ELASTICI BAMBU GUADUA				
	CT	CDE		
Et,0d	1	1	18,63	[GPa]
	1	0,95	17,70	[GPa]
	1	0,45	8,38	[GPa]
Ec,0d	1	1	18,04	[GPa]
	1	0,95	17,14	[GPa]
	1	0,45	8,12	[GPa]
Em,0d	1	1	17,55	[GPa]
	1	0,95	16,67	[GPa]
	1	0,45	7,90	[GPa]
Em,90d	1	1	17,55	[GPa]
	1	0,95	16,67	[GPa]
	1	0,45	7,90	[GPa]
Gd	1	1	2,52	[GPa]
	1	0,95	2,39	[GPa]
	1	0,45	1,13	[GPa]

3.2. Definizione dei Carichi

Nel paragrafo che segue si espone la valutazione dei carichi da applicare alla struttura, comprendendo i carichi permanenti strutturali, permanenti non strutturali e variabili.

3.2.1. Carichi Permanenti Strutturali

Questa categoria di carichi dipende dal peso proprio delle aste in bambù impiegate nella struttura. Indicheremo questi carichi con la lettera G_1 per distinguerli dalle altre categorie impiegate nelle combinazioni di carico. Il calcolo del peso proprio degli elementi impiegati sarà gestito automaticamente dal programma di calcolo Straus7, inserendo il corretto valore di densità, che si riepiloga di seguito per le due specie di bambù trattate in questa tesi:

- *Phyllostacis Edulis* → $\rho = 8,11 \text{ kN/m}^3$;
- *Guadua Angustifolia* → $\rho = 7,85 \text{ kN/m}^3$.

Il peso a livello strutturale del telo in fibra di bambù impiegato risulta essere del tutto trascurabile a livello strutturale, di conseguenza non sarà considerato in questo lavoro.

3.2.2. Carichi Permanenti Non Strutturali

Nel caso del progetto in questione si ha a che fare con delle coperture non praticabili, di conseguenza non avremo dei carichi permanenti non strutturali da considerare.

3.2.3. Carichi Variabili

Per quanto riguarda questa categoria di carico si andrà a calcolare due tipologie di azioni agenti sulle tre coperture facenti parte della struttura:

- *Carico da Neve*;
- *Carico da Vento*.

Il riferimento normativo per questa valutazione sono le NTC 2018 ed il CNR-DT 207/2008, il secondo specializzato per il calcolo delle azioni da vento. Di seguito si illustrano i passaggi salienti del calcolo.

Prima di procedere è necessario identificare le caratteristiche del sito di costruzione, ovvero il comune di Guardialfiera, in provincia di Campobasso:

- Coordinate → $41^\circ 80' 40'' \text{N}$; $14^\circ 79' 30'' \text{E}$
- Altitudine → 120 m s.l.m.

3.2.3.1. Carico da Neve

Con riferimento al capitolo 3.4 delle NTC2018 si calcola il carico dovuto al peso della neve con la seguente formula:

$$q_s = \mu_i * q_{sk} * C_E * C_t$$

In cui:

- q_{sk} è il valore di riferimento del carico della neve al suolo, in questo caso pari ad 1 essendo il comune di Guardialfiera al di sotto dei 200 m di quota in zona II;
- μ_i è il coefficiente di forma della copertura, valutato in base all'angolo di inclinazione delle falde rispetto all'orizzontale. Nel caso delle falde sub-verticali che costituiscono le "pareti" della struttura il coefficiente è pari a zero siccome l'angolo di inclinazione supera i 60°. Per le restanti falde, con angolazione minore o uguale a 30° si assume un valore pari a 0,8. Di seguito il calcolo dei coefficienti associati a ciascuna falda:

COEFF DI FORMA						
	COPERTURA			PARETE		
	LEAF#1	LEAF#2	LEAF#3	LEAF#1	LEAF#2	LEAF#3
angolo	30°	6,5°	0°	85°	80°	60°
μ_i	0,8	0,8	0,8	0	0	0

- C_E è il coefficiente di esposizione, pari ad 0,9 in quanto il sito è un'area pianeggiante con assenza di costruzioni;
- C_t è il coefficiente termico, pari a 1 in quanto non si hanno informazioni sulle capacità di isolamento del materiale.

Alla luce di quanto illustrato si riporta il valore del carico da neve applicato sulla struttura:

CARICO DA NEVE [kN/m2]						
	COPERTURA			PARETE		
	LEAF#1	LEAF#2	LEAF#3	LEAF#1	LEAF#2	LEAF#3
qs	0,72	0,72	0,72	0	0	0

Si evince che non è necessario applicare pressione da neve sulle falde sub-verticali ove la neve viene rimossa in fretta per scivolamento, mentre le falde sub-orizzontali saranno caricate completamente. Nei prossimi paragrafi si illustra come si è scelto di ipotizzare la ripartizione di tale carico sulle aste in bambù.

3.2.3.2. Carico da Vento

Per calcolare la pressione esercitata dal vento sulla struttura si è fatto riferimento al capitolo 3.3.10.1 delle NTC18 ed alla Circolare esplicativa 207/2008. La formulazione utilizzata è la seguente:

$$p = q_r * C_e * C_p * C_d$$

In cui:

- q_r è la pressione cinetica di riferimento;
- C_e è il coefficiente di esposizione;
- C_p è il coefficiente di pressione;
- C_d è il coefficiente dinamico.

Per prima cosa è necessario calcolare il valore della pressione cinetica di riferimento q_r utilizzando la seguente formulazione:

$$q_r = \frac{1}{2} * \rho * V_r^2$$

In cui:

- V_r è la velocità di riferimento;
- ρ è la densità dell'aria posta pari a 1,25 kg/m³.

Per il calcolo della velocità di riferimento usiamo:

$$V_r = V_b * C_r$$

In cui:

- $V_b = V_{b0} * C_a = 27 \text{ m/s}$;
 - $V_{b0} = 27 \text{ m/s}$ dalla tabella seguente, facendo riferimento al territorio della regione Molise;

Zona	Descrizione	$v_{b,0}$ [m/s]	a_0 [m]	k_s
1	Valle d'Aosta, Piemonte, Lombardia, Trentino Alto Adige, Veneto, Friuli Venezia Giulia (con l'eccezione della provincia di Trieste)	25	1000	0,40
2	Emilia Romagna	25	750	0,45
3	Toscana, Marche, Umbria, Lazio, Abruzzo, Molise, Puglia, Campania, Basilicata, Calabria (esclusa la provincia di Reggio Calabria)	27	500	0,37

- $C_a = 1$ siccome la quota è inferiore a $a_0 = 500 m$ secondo la stessa Tabella 3.3.I.

$$\text{➤ } C_r = 0,75 * \sqrt{1 - 0,2 \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T_R} \right) \right]} = 1$$

in cui il tempo di ritorno è imposto pari a 50 anni avendo a che fare con una struttura ordinaria di categoria II.

Una volta fatte queste valutazioni si riporta il calcolo complessivo della pressione cinetica di riferimento sotto forma tabellare:

CALCOLO VELOCITA' DI RIFERIMENTO		
Vb	27,00	[m/s]
Tr	50,00	[yrs]
Cr	1,00	[/]
Vr	27,02	[m/s]
qr	456,29	[N/m2]

Di seguito si riporta la valutazione del coefficiente di esposizione C_e seguendo la formula:

$$C_e(z) = K_r^2 * C_t * \ln \left(\frac{z}{z_0} \right) * \left[7 + C_r * \ln \left(\frac{z}{z_0} \right) \right] \text{ se } z > z_{min}$$

$$C_e(z) = C_e(z_{min}) \text{ se } z < z_{min}$$

In cui:

- $C_t = 1$;
- $K_r = 1$, $z_0 = 0,17$, $z_{min} = 0,01$ dalla tabella 3.3.II che segue:

Categoria di esposizione del sito	K_r	z_0 [m]	z_{min} [m]
I	0,17	0,01	2
II	0,19	0,05	4
III	0,20	0,10	5
IV	0,22	0,30	8
V	0,23	0,70	12

- z è l'altezza del punto considerato, punto ad altezza maggiore delle due falde di ciascuna foglia, suddivise in "pareti" e "copertura";

Si riporta il calcolo di C_e per tutti gli elementi, ricordando che l'altezza max di essi non supera z_{min} e di conseguenza si utilizzerà la formula numero 1.

CALCOLO COEFFICIENTE ESPOSIZIONE					
Ct	1,00	[/]		z [m]	Ce
Kr	0,17	[/]			
z0	0,01	[m]			
zmin	2,00	[m]			
			Leaf#1	Parete	4,30
				Copertura	4,50
			Leaf#2	Parete	3,30
				Copertura	4,00
			Leaf#3	Parete	4,30
				Copertura	4,30

Per quanto riguarda il *coefficiente di pressione* C_p , dipendente da geometria strutturale rispetto alla direzione del vento, si fa riferimento allo schema sotto riportato in cui il valore dipende dal fatto che l'elemento sia sottovento o sopravvento. Esso proviene dalla circolare di riferimento.

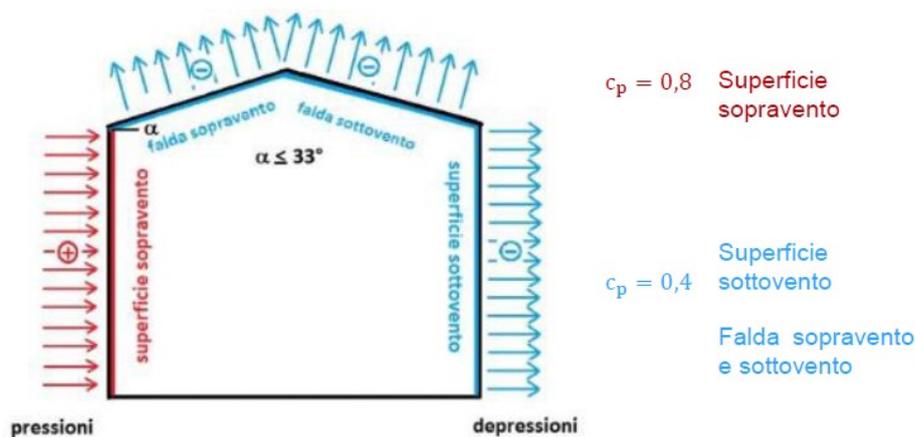


Figura 23 - Coefficiente di pressione per lo schema costruttivo

CALCOLO COEFF. PRESSIONE			
Pareti	Cp Soprav	0,80	[/]
	Cp Sottov	0,40	[/]
Coperture	Cp Soprav	0,40	[/]
	Cp Sottov	0,40	[/]

Il coefficiente di pressione viene riportato sia nel caso in cui le falde siano ipotizzate sopravvento o sottovento, in modo tale da riuscire a considerare la combinazione delle azioni da vento in tutte le direzioni.

Per quanto riguarda il *coefficiente dinamico* C_d si impone uguale ad 1 in quanto la struttura ha un'altezza minore di 80m, in assenza di analisi specifiche in merito.

Infine, si considera l'azione tangenziale del vento utilizzando la formula $p = q_r * C_e * C_f$, in cui C_f è il coefficiente d'attrito, imposto pari a 0,01.

In conclusione, si riporta una tabella con i risultati dei calcoli effettuati sinora in termini di pressione del vento sopravvento e sottovento.

		PRESSIONE E VENTO SOPRAV	PRESSIONE VENTO SOTTOV	AZ TANG VENTO	PRESSIONE VENTO SOPRAV	PRESSIONE VENTO SOTTOV	AZ TANG VENTO
		p [N/m ²]	p [N/m ²]	pf [N/m ²]	p [kN/m ²]	p [kN/m ²]	pf [kN/m ²]
Leaf#1	Parete	835,69	417,85	10,45	0,84	0,42	0,01
	Copertura	422,44	422,44	10,56	0,42	0,42	0,01
Leaf#2	Parete	783,02	391,51	9,79	0,78	0,39	0,01
	Copertura	410,58	410,58	10,26	0,41	0,41	0,01
Leaf#3	Parete	835,69	417,85	10,45	0,84	0,42	0,01
	Copertura	417,85	417,85	10,45	0,42	0,42	0,01

3.2.4. Ripartizione dei Carichi Variabili

Una volta individuate le pressioni esercitate sugli elementi strutturali si ipotizzerà una distribuzione dei carichi sugli elementi strutturali in bambù. A tal fine si immagina di collegare il telo in fibra di bambù alle sole “travi principali” della copertura in modo tale da ripartire la pressione che vento e neve esercitano su di esso in maniera unidirezionale, seguendo un ragionamento simile a quello della distribuzione dei carichi di un solaio attraverso i travetti. Per questa ragione si riporta uno schema con la direzione che i carichi seguono secondo questa ipotesi, a livello esemplificativo per la foglia numero 3.

DISTRIBUZIONE DEI CARICHI SULLA FOGLIA #3

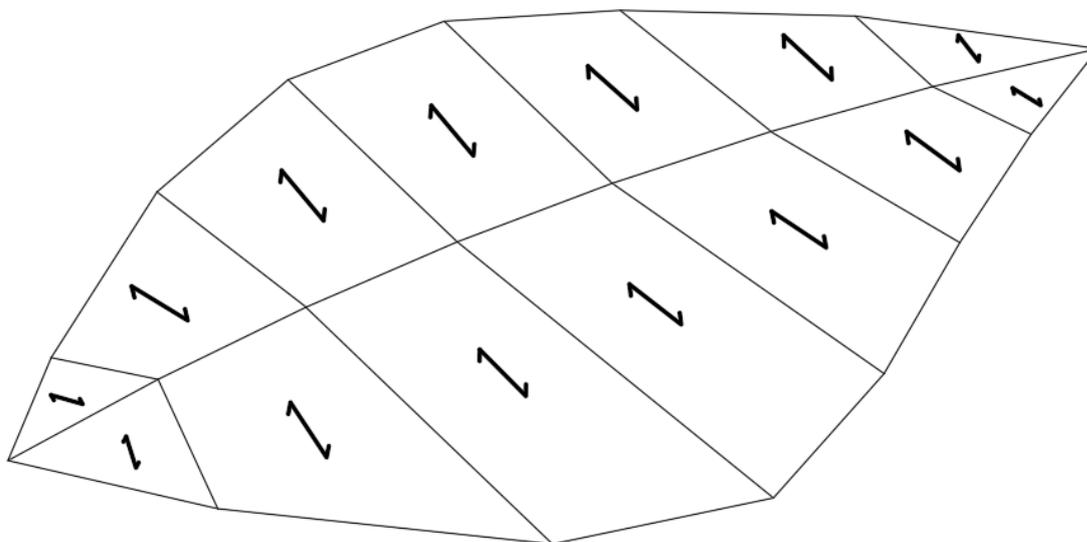


Figura 24 - Direzione della distribuzione dei carichi

Data la distribuzione di cui sopra si pensa di ragionare per aree di influenza, ripartendo il carico per metà sulla trave principale interna, e per l'altra metà sulla trave esterna. Quindi, per ottenere i carichi uniformemente distribuiti da applicare sulle travi principali si procede a moltiplicare le pressioni dei carichi variabili per metà della lunghezza dell'area di influenza.

AREE DI INFLUENZA FOGLIA #3

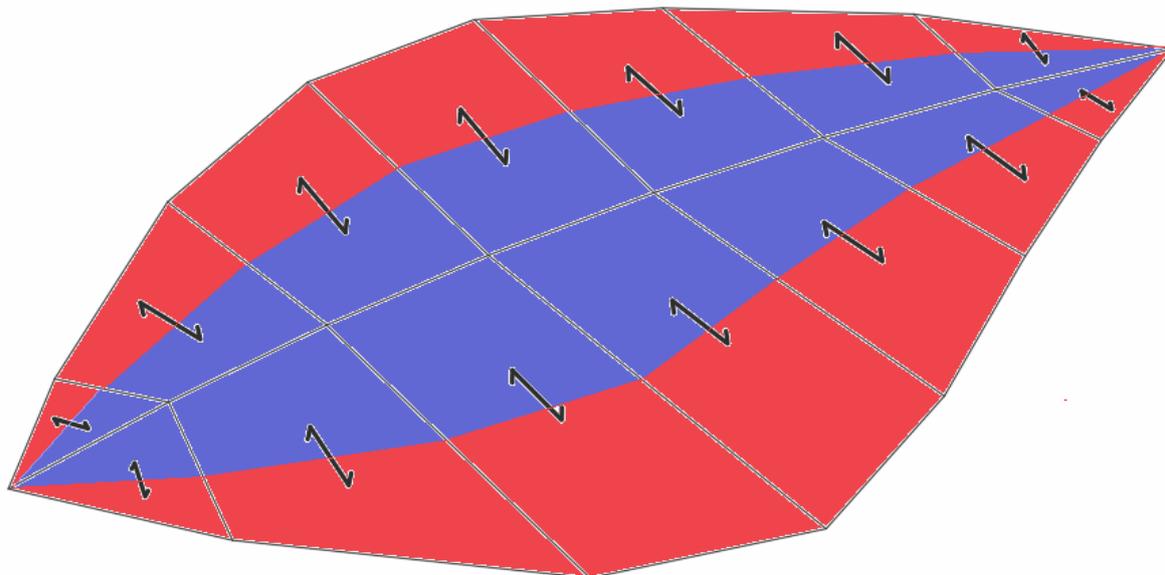


Figura 25 - Aree d'influenza

Di seguito si riportano le lunghezze da considerare per effettuare questa operazione:

GEOMETRIE PARETI - LUNGHEZZA VENATURE PERPENDICOLARI [m]					
Foglia	Elemento	Tratto	Lunghezza	L Scarico Dorso	L Scarico Laterale
LEAF #1	Parete	Tratto 1	0,9	0,45	0,45
		Tratto 2	1,6	0,8	0,8
		Tratto 3	2	1	1
		Tratto 4	2	1	1
		Tratto 5	2	1	1
		Tratto 6	1,6	0,8	0,8
		Tratto 7	0,8	0,4	0,4
		Tratto 8	0,4	0,2	0,2
	Copertura	Tratto 1	1	0,5	0,5
		Tratto 2	1,8	0,9	0,9
		Tratto 3	2,2	1,1	1,1
		Tratto 4	2,2	1,1	1,1
		Tratto 5	2,2	1,1	1,1
		Tratto 6	1,5	0,75	0,75
		Tratto 7	0,9	0,45	0,45
		Tratto 8	0,4	0,2	0,2

LEAF #2	Parete	Tratto 1	0,15	0,075	0,075
		Tratto 2	0,3	0,15	0,15
		Tratto 3	0,7	0,35	0,35
		Tratto 4	1	0,5	0,5
		Tratto 5	1,5	0,75	0,75
		Tratto 6	1,9	0,95	0,95
		Tratto 7	1,9	0,95	0,95
		Tratto 8	1,7	0,85	0,85
		Tratto 9	1,2	0,6	0,6
		Tratto 10	0,7	0,35	0,35
	Copertura	Tratto 1	0,18	0,09	0,09
		Tratto 2	0,4	0,2	0,2
		Tratto 3	0,8	0,4	0,4
		Tratto 4	1,3	0,65	0,65
		Tratto 5	1,9	0,95	0,95
		Tratto 6	2,2	1,1	1,1
		Tratto 7	2,2	1,1	1,1
		Tratto 8	2	1	1
		Tratto 9	1,3	0,65	0,65
		Tratto 10	0,8	0,4	0,4
LEAF #3	Parete	Tratto 1	1,2	0,6	0,6
		Tratto 2	2,6	1,3	1,3
		Tratto 3	3,3	1,65	1,65
		Tratto 4	3,3	1,65	1,65
		Tratto 5	3,3	1,65	1,65
		Tratto 6	2,5	1,25	1,25
		Tratto 7	1,3	0,65	0,65
	Copertura	Tratto 1	1	0,5	0,5
		Tratto 2	2,6	1,3	1,3
		Tratto 3	3,1	1,55	1,55
		Tratto 4	3,1	1,55	1,55
		Tratto 5	2,3	1,15	1,15
		Tratto 6	1,7	0,85	0,85
		Tratto 7	0,9	0,45	0,45

Una volta suddivise le aree di influenza si procede a moltiplicare i valori di pressione per i tratti individuati. Si precisa che per l'azione del vento si considereranno sia i casi di parete sopravvento che sottovento, per poter poi generare le combinazioni di azioni adatte. La neve agirà sulle sole falde di copertura sub-orizzontale, così come l'azione da vento tangenziale, che risulta essere molto bassa e quasi trascurabile. Di seguito si può vedere una tabella con i risultati in termini di kN/m.

Foglia	Elemento	Tratto	Vento Sottov. [kN/m] + tang		Vento Soprav. [kN/m] + tang		Neve [kN/m]		Az Tang Vento [kN/m]	
			Dorso	Lato	Dorso	Lato	Dorso	Lato	Dorso	Lato
LEAF #1	Parete	Tratto 1	0,376	0,376	0,188	0,188	0,000	0,000	0,000	0,000
		Tratto 2	0,669	0,669	0,334	0,334	0,000	0,000	0,000	0,000
		Tratto 3	0,836	0,836	0,418	0,418	0,000	0,000	0,000	0,000
		Tratto 4	0,836	0,836	0,418	0,418	0,000	0,000	0,000	0,000
		Tratto 5	0,836	0,836	0,418	0,418	0,000	0,000	0,000	0,000
		Tratto 6	0,669	0,669	0,334	0,334	0,000	0,000	0,000	0,000
		Tratto 7	0,334	0,334	0,167	0,167	0,000	0,000	0,000	0,000
		Tratto 8	0,167	0,167	0,084	0,084	0,000	0,000	0,000	0,000
	Copertura	Tratto 1	0,217	0,217	0,217	0,217	0,360	0,360	0,005	0,005
		Tratto 2	0,390	0,390	0,390	0,390	0,648	0,648	0,010	0,010
		Tratto 3	0,476	0,476	0,476	0,476	0,792	0,792	0,012	0,012
		Tratto 4	0,476	0,476	0,476	0,476	0,792	0,792	0,012	0,012
		Tratto 5	0,476	0,476	0,476	0,476	0,792	0,792	0,012	0,012
		Tratto 6	0,325	0,325	0,325	0,325	0,540	0,540	0,008	0,008
		Tratto 7	0,195	0,195	0,195	0,195	0,324	0,324	0,005	0,005
		Tratto 8	0,087	0,087	0,087	0,087	0,144	0,144	0,002	0,002

Foglia	Elemento	Tratto	Vento Sottov. [kN/m] + tang		Vento Soprav. [kN/m] + tang		Neve [kN/m]		Az Tang Vento [kN/m]	
			Dorso	Lato	Dorso	Lato	Dorso	Lato	Dorso	Lato
LEAF #2	Parete	Tratto 1	0,059	0,059	0,029	0,029	0,000	0,000	0,000	0,000
		Tratto 2	0,117	0,117	0,059	0,059	0,000	0,000	0,000	0,000
		Tratto 3	0,274	0,274	0,137	0,137	0,000	0,000	0,000	0,000
		Tratto 4	0,392	0,392	0,196	0,196	0,000	0,000	0,000	0,000
		Tratto 5	0,587	0,587	0,294	0,294	0,000	0,000	0,000	0,000
		Tratto 6	0,744	0,744	0,372	0,372	0,000	0,000	0,000	0,000
		Tratto 7	0,744	0,744	0,372	0,372	0,000	0,000	0,000	0,000
		Tratto 8	0,666	0,666	0,333	0,333	0,000	0,000	0,000	0,000
		Tratto 9	0,470	0,470	0,235	0,235	0,000	0,000	0,000	0,000
		Tratto 10	0,274	0,274	0,137	0,137	0,000	0,000	0,000	0,000
	Copertura	Tratto 1	0,038	0,038	0,038	0,038	0,065	0,065	0,001	0,001
		Tratto 2	0,084	0,084	0,084	0,084	0,144	0,144	0,002	0,002
		Tratto 3	0,168	0,168	0,168	0,168	0,288	0,288	0,004	0,004
		Tratto 4	0,274	0,274	0,274	0,274	0,468	0,468	0,007	0,007
		Tratto 5	0,400	0,400	0,400	0,400	0,684	0,684	0,010	0,010
		Tratto 6	0,463	0,463	0,463	0,463	0,792	0,792	0,011	0,011
		Tratto 7	0,463	0,463	0,463	0,463	0,792	0,792	0,011	0,011
		Tratto 8	0,421	0,421	0,421	0,421	0,720	0,720	0,010	0,010
		Tratto 9	0,274	0,274	0,274	0,274	0,468	0,468	0,007	0,007
		Tratto 10	0,168	0,168	0,168	0,168	0,288	0,288	0,004	0,004

Foglia	Elemento	Tratto	Vento Sottov. [kN/m] + tang		Vento Soprav. [kN/m] + tang		Neve [kN/m]		Az Tang Vento [kN/m]	
			Dorso	Lato	Dorso	Lato	Dorso	Lato	Dorso	Lato
LEAF #3	Parete	Tratto 1	0,501	0,501	0,251	0,251	0,000	0,000	0,000	0,000
		Tratto 2	1,086	1,086	0,543	0,543	0,000	0,000	0,000	0,000
		Tratto 3	1,379	1,379	0,689	0,689	0,000	0,000	0,000	0,000
		Tratto 4	1,379	1,379	0,689	0,689	0,000	0,000	0,000	0,000
		Tratto 5	1,379	1,379	0,689	0,689	0,000	0,000	0,000	0,000
		Tratto 6	1,045	1,045	0,522	0,522	0,000	0,000	0,000	0,000
		Tratto 7	0,543	0,543	0,272	0,272	0,000	0,000	0,000	0,000
	Copertura	Tratto 1	0,214	0,214	0,214	0,214	0,360	0,360	0,005	0,005
		Tratto 2	0,557	0,557	0,557	0,557	0,936	0,936	0,014	0,014
		Tratto 3	0,664	0,664	0,664	0,664	1,116	1,116	0,016	0,016
		Tratto 4	0,664	0,664	0,664	0,664	1,116	1,116	0,016	0,016
		Tratto 5	0,493	0,493	0,493	0,493	0,828	0,828	0,012	0,012
		Tratto 6	0,364	0,364	0,364	0,364	0,612	0,612	0,009	0,009
		Tratto 7	0,193	0,193	0,193	0,193	0,324	0,324	0,005	0,005

Una volta ricavati i carichi uniformemente distribuiti sulle aste in bambu essi sono applicati costituendo tre schemi di carico in tutto:

- Carico da Neve → Solo Applicazione della pressione da neve sulle falde sub-orizzontali;
- Vento direzione 1 → Applicazione del vento nella direzione NORD-SUD. Il vento batte direttamente sulla foglia numero 1, che risulta essere sopravvento, ed indirettamente sulle foglie numero 2 e 3, che sono sottovento;
- Vento direzione 2 → Applicazione del vento nella direzione SUD-NORD. Il vento batte direttamente sulle foglie numero 2 e 3, che risulta essere sopravvento, ed indirettamente sulla foglia numero 1, che è sottovento.

3.2.5. Combinazioni di Carico

Le azioni calcolate nei paragrafi precedenti devono essere combinate in modo tale da generare le condizioni di carico più gravose a livello globale. Di seguito si farà riferimento al Paragrafo 2.5.3. del DM – NTC18, definendo delle combinazioni destinate a caricare la struttura ai vari stati limite:

➤ **Stato Limite Ultimo SLU – Combinazione Fondamentale**

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_p \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \sum_{j>1} \gamma_{Qj} \cdot \psi_{0j} \cdot Q_{kj}$$

▪ Prima Combinazione SLU:

Carico principale: Neve

Carico secondario: Vento

Carichi Permanenti Strutturali e Carico Neve *sfavorevoli* (coeff parz: 1,3 e 1,5)

Carico Vento *favorevole* (coefficiente parziale: 0)

▪ Seconda Combinazione SLU:

Carico principale: Vento

Carico secondario: Neve

Carichi Permanenti Strutturali e Carico Neve *favorevoli* (coeff parz: 1 e 0)

Carico Vento *sfavorevole* (coefficiente parziale: 1,5)

Queste combinazioni saranno applicate due volte, prima per il vento in una direzione e poi per la direzione opposta;

➤ **Stato Limite di Esercizio – Combinazione Rara**

Le combinazioni sono le stesse del caso precedente, ciò che cambia sono i coefficienti parziali di sicurezza $\gamma_{G,Q}$ che si impongono pari ad 1;

➤ **Stato Limite di Esercizio – Combinazione Quasi Permanente**

$$G_1 + G_2 + \sum_j \psi_{2j} \cdot Q_{kj}$$

In questo caso la combinazione prevede l'applicazione dei soli carichi permanenti strutturali G_1 , in quanto il coefficiente di combinazione $\psi_{2j} = 0$ per azioni variabili di

vento e neve su coperture non praticabili. Questa combinazione sarà associata alle forze statiche equivalenti provenienti dall'analisi sismica.

La tabella seguente riporta i valori dei coefficienti di combinazione ψ_{ij} per quanto riguarda i casi di carico variabile da vento e neve per quota inferiore a 1000 m s.l.m.

Categoria/Azione variabile	Ψ_{0j}	Ψ_{1j}	Ψ_{2j}
Categoria A - Ambienti ad uso residenziale	0,7	0,5	0,3
Categoria B - Uffici	0,7	0,5	0,3
Categoria C - Ambienti suscettibili di affollamento	0,7	0,7	0,6
Categoria D - Ambienti ad uso commerciale	0,7	0,7	0,6
Categoria E - Aree per immagazzinamento, uso commerciale e uso industriale Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale	1,0	0,9	0,8
Categoria F - Rimesse, parcheggi ed aree per il traffico di veicoli (per autoveicoli di peso ≤ 30 kN)	0,7	0,7	0,6
Categoria G - Rimesse, parcheggi ed aree per il traffico di veicoli (per autoveicoli di peso > 30 kN)	0,7	0,5	0,3
Categoria H - Coperture accessibili per sola manutenzione	0,0	0,0	0,0
Categoria I - Coperture praticabili	da valutarsi caso per caso		
Categoria K - Coperture per usi speciali (impianti, eliporti, ...)			
Vento	0,6	0,2	0,0
Neve (a quota ≤ 1000 m s.l.m.)	0,5	0,2	0,0
Neve (a quota > 1000 m s.l.m.)	0,7	0,5	0,2
Variazioni termiche	0,6	0,5	0,0

4. Modellazione agli Elementi Finiti della Struttura

Una volta definite le proprietà meccaniche dei materiali ed i carichi da applicare si modella agli elementi finiti la struttura. Questo passaggio è cruciale per poter ricavare le sollecitazioni agenti sulla struttura e dimensionarla correttamente, attraverso le verifiche agli stati limite di cui sopra.

Il modello è stato realizzato con il programma Straus7, che impone come primo passo di definire i nodi che caratterizzano gli elementi strutturali: attraverso il comando “Create → Node” si introduce un totale di 93 nodi relativi alle tre coperture a forma di foglia. I nodi alla base dei pilastri sono stati vincolati tramite degli incastri.

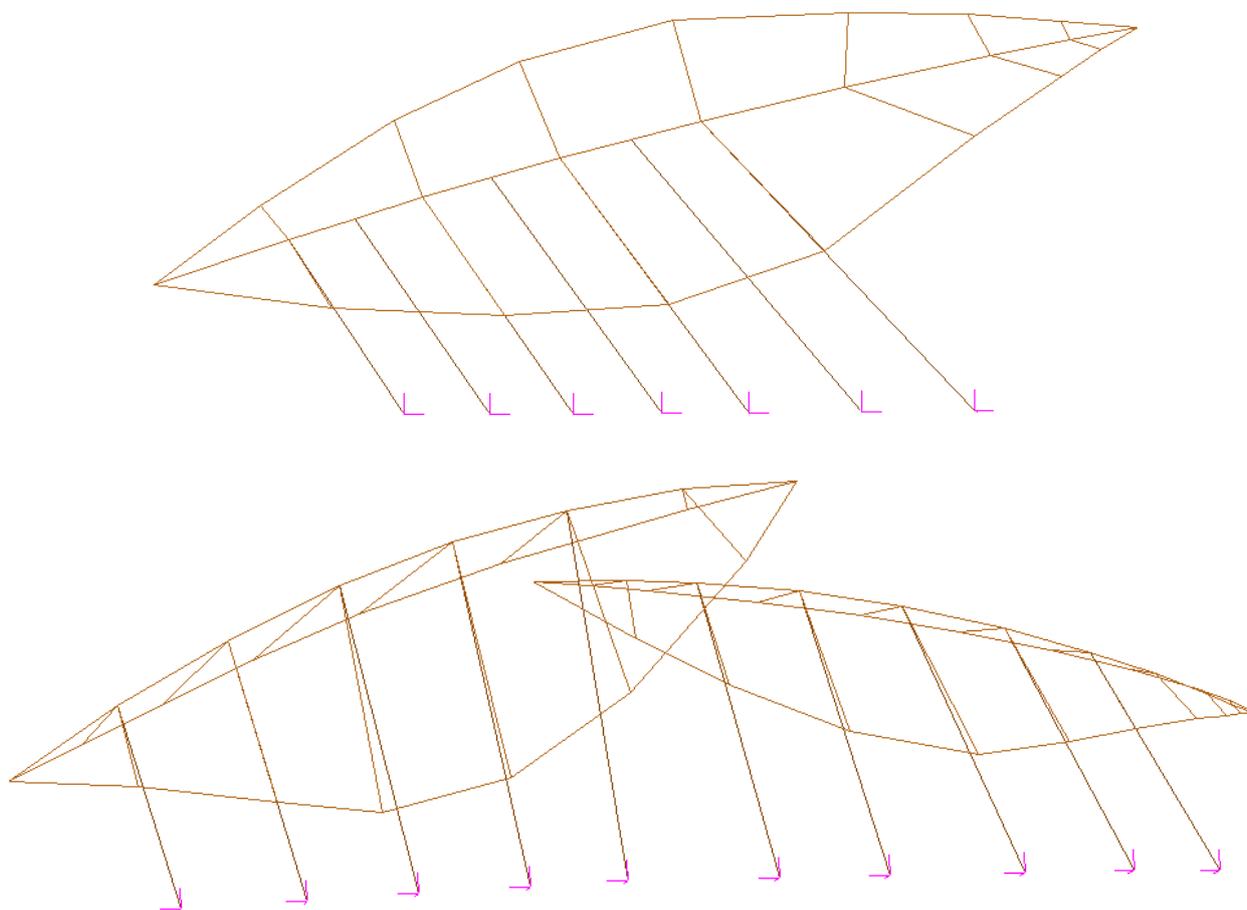


Figura 26 - Schermata del modello - Foglia #1 #2 #3

Una volta definiti i nodi della struttura risulta necessario caratterizzare il materiale che costituisce gli elementi beam che si andrà ad inserire. Per fare ciò si entra nel comando “Property → Beam” ove saranno definite le caratteristiche geometriche e meccaniche. Si precisa che sono stati realizzati due

modelli, uno con il Bambù Moso e l'altro con la Guadua, in modo tale da comprendere le differenze tra i due a livello progettuale. Si riportano di seguito le schermate relative alla determinazione delle proprietà dei due materiali:

Si procede con la suddivisione del modello in sottogruppi che comprendessero ciascun elemento trave e pilastro definito nel capitolo 3. Questa suddivisione torna utile anche a livello di proprietà in quanto è semplice differenziarle tra i vari elementi in base al dimensionamento.

A riguardo, si sottolinea che nei modelli di partenza si è ipotizzata la presenza di una sola asta in bambù per elemento, in modo tale da recuperare delle sollecitazioni coerenti con gli schemi di carico e dimensionare su questa base. Quando è necessario considerare la presenza di un numero maggiore di culmi per elemento si procede con il calcolo di una sezione che avesse un diametro D' ed uno spessore della corona della sezione s' tali da garantire un'area pari alla somma delle aree dei singoli culmi. A partire dalla somma delle aree, infatti si calcolano a ritroso diametro e spessore in questo modo:

$$A = n * \frac{\pi}{4} * [D^2 - (D - 2s)^2]$$

$$D' = \sqrt{\frac{100A}{9\pi}}$$

$$s' = \frac{D'}{10}$$

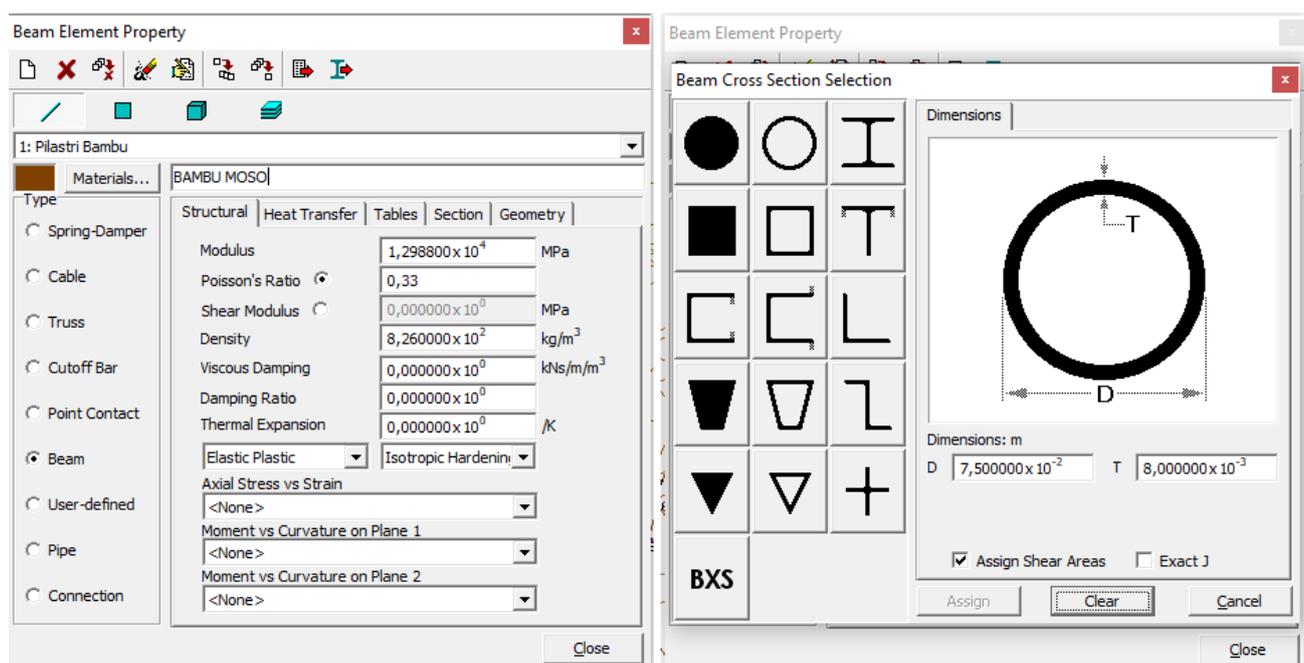


Figura 27 - Proprietà Meccaniche e Geometriche - Bambù Moso

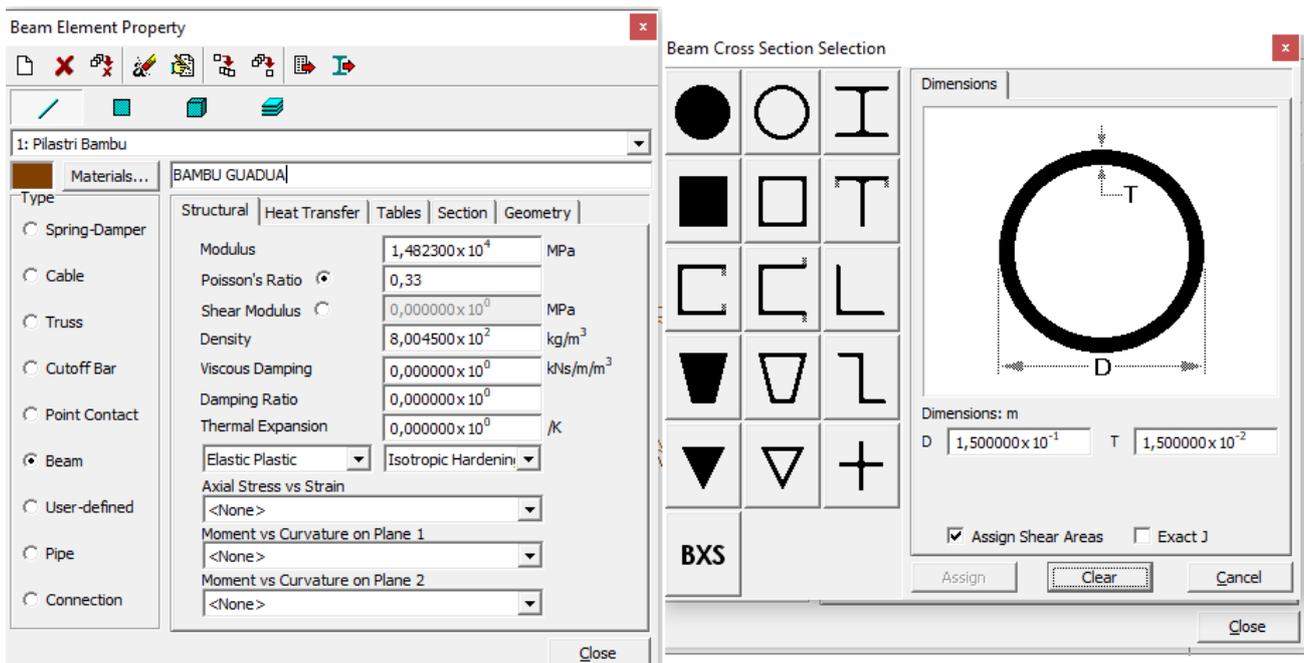


Figura 28 - Proprietà Meccaniche e Geometriche - Bambù Guadua

In seguito a questa sezione complessiva viene assegnata un'inerzia pari alla somma delle inerzie dei singoli culmi.

Una volta definito il modello strutturale è necessario definire i carichi da inserire nel modello, per farlo si fa riferimento ai valori ottenuti tramite le aree d'influenza di cui si parla nel paragrafo 3.2.4. Il comando utilizzato per inserire i carichi è "Attributes → Beam → Distributed Force", ed è stato utilizzato per definire tre Load Cases:

- Carico da Neve;
- Carico da Vento Direzione N-S (Foglia 1 Sopravento, Foglie 2 e 3 Sottovento);
- Carico da Vento Direzione S-N (Foglia 1 Sottovento, Foglie 2 e 3 Sopravento).

Per quanto riguarda il peso proprio, il modello lo porta in conto automaticamente una volta inserita l'accelerazione di gravità all'interno del comando "Global → Load and Freedom Cases". Di seguito si riporta una schermata a riguardo, seguita da una rappresentazione dei carichi nel modello:

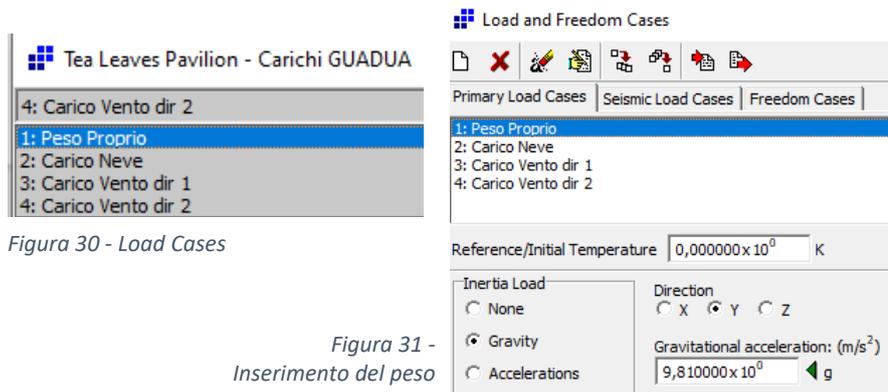


Figura 30 - Load Cases

Figura 31 - Inserimento del peso

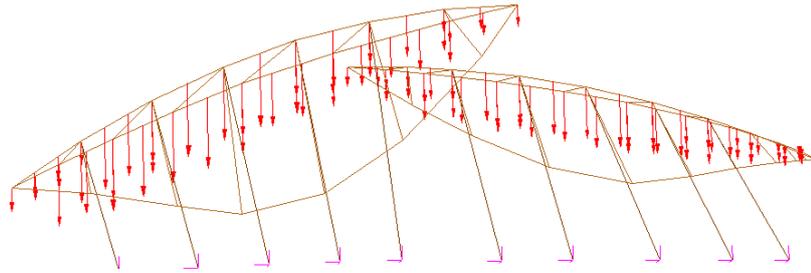
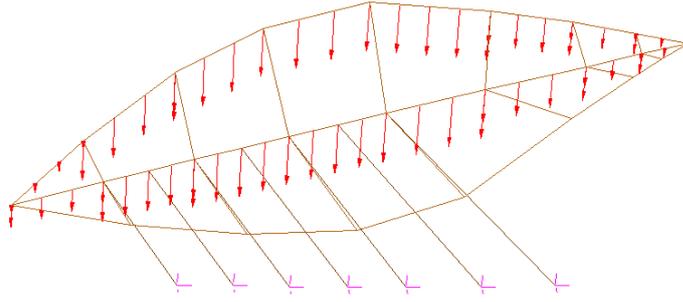


Figura 32 - Carico da Neve Straus7

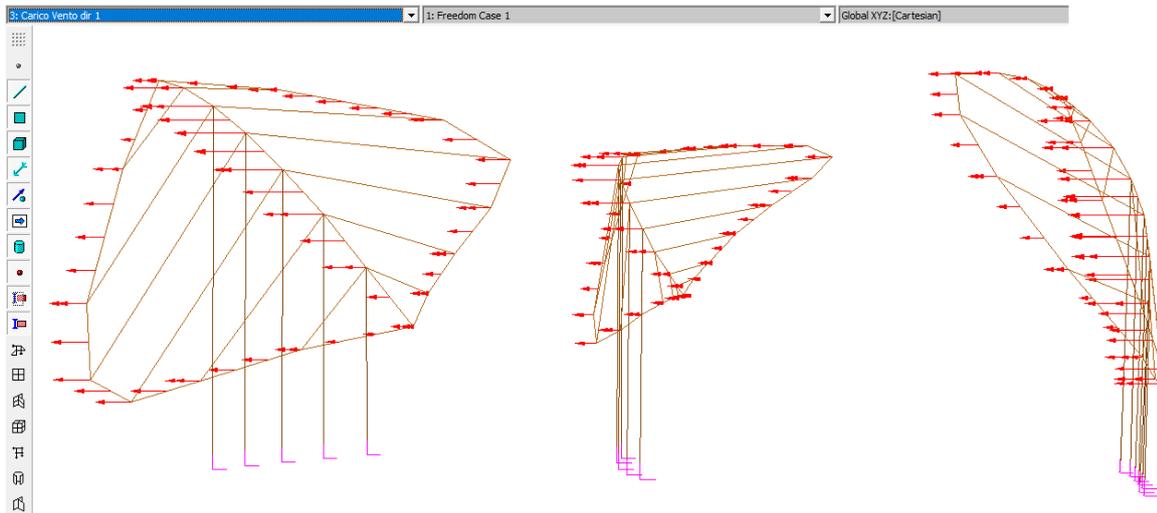


Figura 33 - Carico Vento direzione N-S (Prospetto Est)

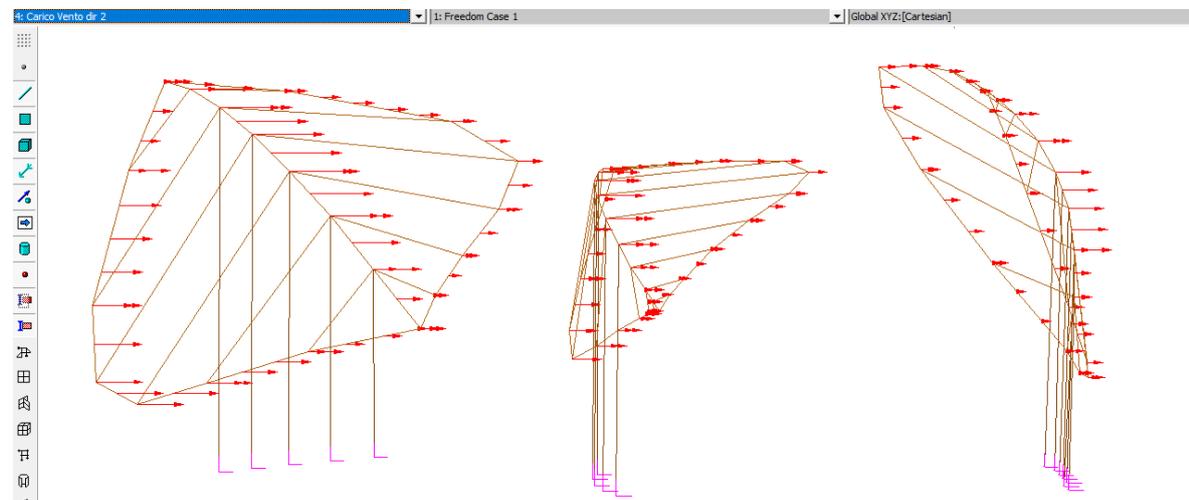


Figura 34 - Carico Vento direzione S-N (Prospetto Est)

I carichi così definiti sono combinati utilizzando il comando “Results → Linear Load Case Combinations” introducendo i seguenti coefficienti moltiplicativi:

	SLU (VENTO NORD + NEVE)	SLU 2 (VENTO SUD + NEVE)	SLU 3 (NEVE + VENTO NORD)	SLU 4 (NEVE + VENTO SUD)
Peso Proprio	1,30E+00	1,30E+00	1,00E+00	1,00E+00
Carico Neve	7,50E-01	7,50E-01	1,50E+00	1,50E+00
Carico vento dir 1	1,50E+00	0,00E+00	9,00E-01	0,00E+00
Carico Vento dir 2	0,00E+00	1,50E+00	0,00E+00	9,00E-01

SLE RARA 1 (VENTO NORD + NEVE)	SLE RARA 2 (VENTO SUD + NEVE)	SLE RARA 3 (NEVE + VENTO NORD)	SLE RARA 4 (NEVE + VENTO SUD)	SLE QUASI PERMANENTE
1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00
5,00E-01	5,00E-01	1,00E+00	1,00E+00	0,00E+00
1,00E+00	0,00E+00	6,00E-01	0,00E+00	0,00E+00
0,00E+00	1,00E+00	0,00E+00	6,00E-01	0,00E+00

A partire da queste combinazioni verranno raccolte le sollecitazioni massime agenti sulla struttura in termini di Momento, Taglio e Sforzo Normale, facendo ricorso al comando “Results → Envelope” per ricavare gli involuppi.

Il passo successivo è quello di suddividere gli elementi beam in maniera sistematica, in modo tale da essere in grado di leggere l’andamento quadratico delle sollecitazioni sotto carichi distribuiti. Per questa motivazione si è scelto di suddividere ciascun elemento beam in 16 sotto elementi attraverso il comando “Tools → Subdivide → Beam” come illustrato di seguito:

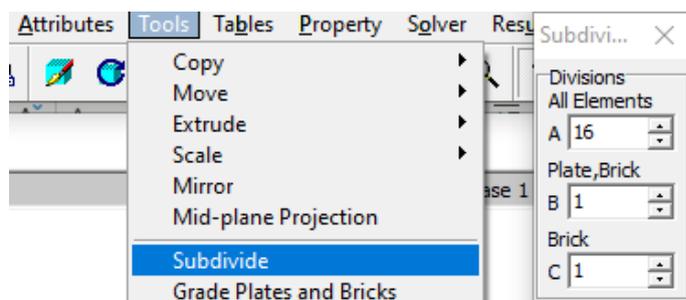


Figura 35 - Comando Subdivide

Nel capitolo che segue si procede alle verifiche allo stato limite ultimo, per riuscire a comprendere la fattibilità dell’opera e dimensionarla correttamente.

5. Verifiche SLU – Padiglione in Bambù Moso e Guadua

Nel capitolo che segue sono riportate le verifiche a stato limite ultimo riguardanti la struttura realizzata con il bambù italiano Moso ed anche quella realizzata con la Guadua Colombiana. La combinazione di riferimento è la seguente:

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_p \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \sum_{j>1} \gamma_{Qj} \cdot \psi_{0j} \cdot Q_{kj}$$

In cui:

- $\gamma_{G1} = 1,3 \rightarrow$ Coefficiente di sicurezza per i carichi permanenti strutturali G_1 ;
- $\gamma_{G2} = 1,3 \rightarrow$ Coefficiente di sicurezza per i carichi permanenti non strutturali G_2 ;
- $\gamma_p = 1,3 \rightarrow$ Coefficiente di sicurezza per la precompressione P ;
- $\gamma_{Q1} = 1,5 \rightarrow$ Coefficiente di sicurezza per l'azione variabile dominante Q_{k1} ;
- $\gamma_{Qj} = 1,5 \rightarrow$ Coefficiente di sicurezza per l'azione variabile secondaria Q_{kj} ;
- $\psi_{0j} \rightarrow$ Coefficiente di combinazione per l'azione variabile, dipendente dal tipo.

Si ricorda che le sollecitazioni vengono estrapolate da involucri ottenuti dal modello agli elementi finiti. Le verifiche a cui sottoporre gli elementi strutturali sono le seguenti:

- Verifica a Flessione \rightarrow Elementi Trave (principale e secondaria);
- Verifica a Taglio \rightarrow Elementi Pilastro e Trave;
- Verifica a Sforzo Normale \rightarrow Elementi Pilastro;
- Verifica a PressoFlessione \rightarrow Elementi Pilastro e Trave;
- Verifica a TensoFlessione \rightarrow Elementi Pilastro e Trave.

La normativa di riferimento per le formulazioni resta la ISO 22156. Nei paragrafi seguenti sono illustrate le verifiche una per volta, ricordando due aspetti fondamentali:

- 1) Le verifiche sono condotte rispetto a tre tipologie di carico, ed in base ad esse cambieranno le caratteristiche meccaniche che entrano in gioco (come descritto nel paragrafo 3.1):
 - Classe di Durata Istantanea \rightarrow riguarda le azioni da vento, come già indicato in precedenza. Per questa verifica sarà considerata la combinazione di azioni complessiva, in quanto ci si aspetta che l'azione del vento sia la più gravosa;
 - Classe di Durata Breve \rightarrow in questo caso considereremo la sola presenza della neve;

- Classe di Durata Permanente → si considereranno solo i carichi permanenti strutturali, quindi il solo peso proprio del bambù.
- 2) Il numero complessivo di verifiche condotte in questo capitolo è molto elevato. Infatti, comprendendo le tre tipologie di carico considerate, ed il fatto che si fa riferimento a due modelli, si arriva ad avere più di 2000 verifiche (tenendo conto che il numero di elementi beam da verificare è pari a 82, tra travi e pilastri). Di conseguenza, sarà necessario fare una scrematura dei risultati ottenuti, e verranno quindi riportate le sole verifiche riguardanti gli elementi strutturali maggiormente sollecitati.

5.1. Padiglione in Bambù Autoctono Moso

Nel seguente paragrafo si illustrano le verifiche riguardanti il padiglione in *Phyllostachis Edulis*, per esplorare la possibilità di realizzare la struttura senza importare il materiale dall'estero, riducendo l'impatto ambientale al minimo.

5.1.1. Verifica a Flessione

Questa verifica viene condotta per gli elementi trave (principali e secondarie) e la formula di riferimento viene riportata di seguito:

$$M_r \geq M_d$$

Dove:

M_d è il momento massimo sollecitante.

M_r è il momento resistente dell'elemento, calcolato come sommatoria dei momenti resistenti dei singoli culmi che ne fanno parte, ovvero:

$$M_r = \sum M_i = \sum f_m * S_i$$

In cui:

- f_m è la resistenza caratteristica a flessione dell'elemento;
- $S_i = \frac{\pi}{32D} * [D^4 - (D - 2 * s)^4]$ è il modulo di resistenza della sezione.

Gli elementi più sollecitati risultano essere le travi principali della foglia numero 1, di seguito si riportano le verifiche effettuate sotto forma tabellare:

VERIFICA MOMENTO FLETTENTE DORSO - TRAVE 1

Classe di Carico Istantanea			Classe di Carico Breve			Classe di Carico Permanente		
n culmi	6	[/]	n culmi	6	[/]	n culmi	6	[/]
D culmi	75	[mm]	D culmi	75	[mm]	D culmi	75	[mm]
s culmi	8	[mm]	s culmi	8	[mm]	s culmi	8	[mm]
fm	30,7615	[Mpa]	fm	23,5235	[Mpa]	fm	19,9045	[Mpa]
Si	2,55559E-08	[mm^4]	Si	2,55559E-08	[mm^4]	Si	2,55559E-08	[mm^4]
Mi	0,786	[kNm]	Mi	0,601	[kNm]	Mi	0,509	[kNm]
Mr	4,717	[kNm]	Mr	3,607	[kNm]	Mr	3,052	[kNm]
Md	3,316	[kNm]	Md	0,557	[kNm]	Md	0,030	[kNm]
Verifica	VERIFICATA		Verifica	VERIFICATA		Verifica	VERIFICATA	

VERIFICA MOMENTO FLETTENTE DORSO - TRAVE 2

Classe di Carico Istantanea			Classe di Carico Breve			Classe di Carico Permanente		
n culmi	6	[/]	n culmi	6	[/]	n culmi	6	[/]
D culmi	75	[mm]	D culmi	75	[mm]	D culmi	75	[mm]
s culmi	8	[mm]	s culmi	8	[mm]	s culmi	8	[mm]
fm	30,7615	[Mpa]	fm	23,5235	[Mpa]	fm	19,9045	[Mpa]
Si	2,55559E-08	[mm^4]	Si	2,55559E-08	[mm^4]	Si	2,55559E-08	[mm^4]
Mi	0,786	[kNm]	Mi	0,601	[kNm]	Mi	0,509	[kNm]
Mr	4,717	[kNm]	Mr	3,607	[kNm]	Mr	3,052	[kNm]
Md	5,292	[kNm]	Md	0,294	[kNm]	Md	0,021	[kNm]
Verifica	NON VERIFICATA		Verifica	VERIFICATA		Verifica	VERIFICATA	

VERIFICA MOMENTO FLETTENTE DORSO - TRAVE 3

Classe di Carico Istantanea			Classe di Carico Breve			Classe di Carico Permanente		
n culmi	6	[/]	n culmi	6	[/]	n culmi	6	[/]
D culmi	75	[mm]	D culmi	75	[mm]	D culmi	75	[mm]
s culmi	8	[mm]	s culmi	8	[mm]	s culmi	8	[mm]
fm	30,7615	[Mpa]	fm	23,5235	[Mpa]	fm	19,9045	[Mpa]
Si	2,55559E-08	[mm^4]	Si	2,55559E-08	[mm^4]	Si	2,55559E-08	[mm^4]
Mi	0,786	[kNm]	Mi	0,601	[kNm]	Mi	0,509	[kNm]
Mr	4,717	[kNm]	Mr	3,607	[kNm]	Mr	3,052	[kNm]
Md	4,680	[kNm]	Md	0,222	[kNm]	Md	0,017	[kNm]
Verifica	VERIFICATA		Verifica	VERIFICATA		Verifica	VERIFICATA	

VERIFICA MOMENTO FLETTENTE FIANCO - TRAVE 4

Classe di Carico Istantanea			Classe di Carico Breve			Classe di Carico Permanente		
n culmi	6	[/]	n culmi	6	[/]	n culmi	6	[/]
D culmi	75	[mm]	D culmi	75	[mm]	D culmi	75	[mm]
s culmi	8	[mm]	s culmi	8	[mm]	s culmi	8	[mm]
fm	30,7615	[Mpa]	fm	23,5235	[Mpa]	fm	19,9045	[Mpa]
Si	2,55559E-08	[mm^4]	Si	2,55559E-08	[mm^4]	Si	2,55559E-08	[mm^4]
Mi	0,786	[kNm]	Mi	0,601	[kNm]	Mi	0,509	[kNm]
Mr	4,717	[kNm]	Mr	3,607	[kNm]	Mr	3,052	[kNm]
Md	1,920	[kNm]	Md	0,372	[kNm]	Md	0,027	[kNm]
Verifica	VERIFICATA		Verifica	VERIFICATA		Verifica	VERIFICATA	

VERIFICA MOMENTO FLETTENTE FIANCO - TRAVE 5

Classe di Carico Istantanea			Classe di Carico Breve			Classe di Carico Permanente		
n culmi	6	[/]	n culmi	6	[/]	n culmi	6	[/]
D culmi	75	[mm]	D culmi	75	[mm]	D culmi	75	[mm]
s culmi	8	[mm]	s culmi	8	[mm]	s culmi	8	[mm]
fm	30,7615	[Mpa]	fm	23,5235	[Mpa]	fm	19,9045	[Mpa]
Si	2,55559E-08	[mm^4]	Si	2,55559E-08	[mm^4]	Si	2,55559E-08	[mm^4]
Mi	0,786	[kNm]	Mi	0,601	[kNm]	Mi	0,509	[kNm]
Mr	4,717	[kNm]	Mr	3,607	[kNm]	Mr	3,052	[kNm]
Md	0,960	[kNm]	Md	0,352	[kNm]	Md	0,026	[kNm]
Verifica	VERIFICATA		Verifica	VERIFICATA		Verifica	VERIFICATA	

VERIFICA MOMENTO FLETTENTE FIANCO - TRAVE 6

Classe di Carico Istantanea			Classe di Carico Breve			Classe di Carico Permanente		
n culmi	6	[/]	n culmi	6	[/]	n culmi	6	[/]
D culmi	75	[mm]	D culmi	75	[mm]	D culmi	75	[mm]
s culmi	8	[mm]	s culmi	8	[mm]	s culmi	8	[mm]
fm	30,7615	[Mpa]	fm	23,5235	[Mpa]	fm	19,9045	[Mpa]
Si	2,55559E-08	[mm^4]	Si	2,55559E-08	[mm^4]	Si	2,55559E-08	[mm^4]
Mi	0,786	[kNm]	Mi	0,601	[kNm]	Mi	0,509	[kNm]
Mr	4,717	[kNm]	Mr	3,607	[kNm]	Mr	3,052	[kNm]
Md	1,600	[kNm]	Md	0,291	[kNm]	Md	0,006	[kNm]
Verifica	VERIFICATA		Verifica	VERIFICATA		Verifica	VERIFICATA	

VERIFICA MOMENTO FLETTENTE FIANCO - TRAVE 7								
Classe di Carico Istantanea			Classe di Carico Breve			Classe di Carico Permanente		
n culmi	6	[/]	n culmi	6	[/]	n culmi	6	[/]
D culmi	75	[mm]	D culmi	75	[mm]	D culmi	75	[mm]
s culmi	8	[mm]	s culmi	8	[mm]	s culmi	8	[mm]
fm	30,7615	[Mpa]	fm	23,5235	[Mpa]	fm	19,9045	[Mpa]
Si	2,55559E-08	[mm^4]	Si	2,55559E-08	[mm^4]	Si	2,55559E-08	[mm^4]
Mi	0,786	[kNm]	Mi	0,601	[kNm]	Mi	0,509	[kNm]
Mr	4,717	[kNm]	Mr	3,607	[kNm]	Mr	3,052	[kNm]
Md	3,270	[kNm]	Md	0,937	[kNm]	Md	0,036	[kNm]
Verifica	VERIFICATA		Verifica	VERIFICATA		Verifica	VERIFICATA	

VERIFICA MOMENTO FLETTENTE FIANCO - TRAVE 8								
Classe di Carico Istantanea			Classe di Carico Breve			Classe di Carico Permanente		
n culmi	6	[/]	n culmi	6	[/]	n culmi	6	[/]
D culmi	75	[mm]	D culmi	75	[mm]	D culmi	75	[mm]
s culmi	8	[mm]	s culmi	8	[mm]	s culmi	8	[mm]
fm	30,7615	[Mpa]	fm	23,5235	[Mpa]	fm	19,9045	[Mpa]
Si	2,55559E-08	[mm^4]	Si	2,55559E-08	[mm^4]	Si	2,55559E-08	[mm^4]
Mi	0,786	[kNm]	Mi	0,601	[kNm]	Mi	0,509	[kNm]
Mr	4,717	[kNm]	Mr	3,607	[kNm]	Mr	3,052	[kNm]
Md	2,320	[kNm]	Md	0,578	[kNm]	Md	0,016	[kNm]
Verifica	VERIFICATA		Verifica	VERIFICATA		Verifica	VERIFICATA	

VERIFICA MOMENTO FLETTENTE FIANCO - TRAVE 9								
Classe di Carico Istantanea			Classe di Carico Breve			Classe di Carico Permanente		
n culmi	6	[/]	n culmi	6	[/]	n culmi	6	[/]
D culmi	75	[mm]	D culmi	75	[mm]	D culmi	75	[mm]
s culmi	8	[mm]	s culmi	8	[mm]	s culmi	8	[mm]
fm	30,7615	[Mpa]	fm	23,5235	[Mpa]	fm	19,9045	[Mpa]
Si	2,55559E-08	[mm^4]	Si	2,55559E-08	[mm^4]	Si	2,55559E-08	[mm^4]
Mi	0,786	[kNm]	Mi	0,601	[kNm]	Mi	0,509	[kNm]
Mr	4,717	[kNm]	Mr	3,607	[kNm]	Mr	3,052	[kNm]
Md	1,440	[kNm]	Md	0,465	[kNm]	Md	0,016	[kNm]
Verifica	VERIFICATA		Verifica	VERIFICATA		Verifica	VERIFICATA	

Si noti come si cerca di uniformare il numero di culmi utilizzati, che risultano essere pari a 6. Per quanto riguarda il resto delle verifiche a flessione:

- Travi Principali → Si adottano 6 culmi, le verifiche sono soddisfatte;
- Travi Secondarie → Adottando 4 culmi le verifiche sono tutte soddisfatte.

Si nota già da qui la necessità di inserire un vero e proprio “fascio” di culmi a livello strutturale.

5.1.2. Verifica a Taglio

La formula di riferimento per questa verifica è la seguente:

$$V_r \geq V_d$$

Dove:

V_d è il taglio massimo sollecitante e V_r è il taglio resistente dell'elemento, calcolato come sommatoria dei tagli resistenti dei singoli culmi che ne fanno parte, ovvero:

$$V_r = \sum V_i = \sum f_v * \frac{3 * \pi * s}{8} * \frac{[D^4 - (D - 2 * s)^4]}{[D^3 - (D - 2 * s)^3]}$$

In cui f_v è la resistenza caratteristica a taglio dell'elemento;

Gli elementi più sollecitati a taglio sono i pilastri della foglia numero 3. Questa situazione era abbastanza pronosticabile date le dimensioni maggiori dell'elemento in questione, che risulta maggiormente sollecitato dall'azione del vento. Di seguito le relative verifiche:

VERIFICA TAGLIO - PILASTRO 13								
Classe di Carico Istantanea			Classe di Carico Breve			Classe di Carico Permanente		
n culmi	8,000	[/]	n culmi	8,000	[/]	n culmi	8,000	[/]
D culmi	75,000	[mm]	D culmi	75,000	[mm]	D culmi	75,000	[mm]
s culmi	8,000	[mm]	s culmi	8,000	[mm]	s culmi	8,000	[mm]
fv	1,847	[Mpa]	fv	1,412	[Mpa]	fv	1,195	[Mpa]
molt	849,911	[mm^4]	molt	849,911	[mm^4]	molt	849,911	[mm^4]
Vi	1,569	[kNm]	Vi	1,200	[kNm]	Vi	1,016	[kNm]
Vr	12,556	[kNm]	Vr	9,601	[kNm]	Vr	8,124	[kNm]
Vd	9,690	[kNm]	Vd	0,142	[kNm]	Vd	0,036	[kNm]
Verifica	VERIFICATA		Verifica	VERIFICATA		Verifica	VERIFICATA	

VERIFICA TAGLIO - PILASTRO 14								
Classe di Carico Istantanea			Classe di Carico Breve			Classe di Carico Permanente		
n culmi	8,000	[/]	n culmi	8,000	[/]	n culmi	8,000	[/]
D culmi	75,000	[mm]	D culmi	75,000	[mm]	D culmi	75,000	[mm]
s culmi	8,000	[mm]	s culmi	8,000	[mm]	s culmi	8,000	[mm]
fv	1,847	[Mpa]	fv	1,412	[Mpa]	fv	1,195	[Mpa]
molt	849,911	[mm^4]	molt	849,911	[mm^4]	molt	849,911	[mm^4]
Vi	1,569	[kNm]	Vi	1,200	[kNm]	Vi	1,016	[kNm]
Vr	12,556	[kNm]	Vr	9,601	[kNm]	Vr	8,124	[kNm]
Vd	9,270	[kNm]	Vd	0,099	[kNm]	Vd	0,029	[kNm]
Verifica	VERIFICATA		Verifica	VERIFICATA		Verifica	VERIFICATA	

VERIFICA TAGLIO - PILASTRO 15								
Classe di Carico Istantanea			Classe di Carico Breve			Classe di Carico Permanente		
n culmi	8,000	[/]	n culmi	8,000	[/]	n culmi	8,000	[/]
D culmi	75,000	[mm]	D culmi	75,000	[mm]	D culmi	75,000	[mm]
s culmi	8,000	[mm]	s culmi	8,000	[mm]	s culmi	8,000	[mm]
fv	1,847	[Mpa]	fv	1,412	[Mpa]	fv	1,195	[Mpa]
molt	849,911	[mm ⁴]	molt	849,911	[mm ⁴]	molt	849,911	[mm ⁴]
Vi	1,569	[kNm]	Vi	1,200	[kNm]	Vi	1,016	[kNm]
Vr	12,556	[kNm]	Vr	9,601	[kNm]	Vr	8,124	[kNm]
Vd	9,560	[kNm]	Vd	0,268	[kNm]	Vd	0,021	[kNm]
Verifica	VERIFICATA		Verifica	VERIFICATA		Verifica	VERIFICATA	

VERIFICA TAGLIO - PILASTRO 16								
Classe di Carico Istantanea			Classe di Carico Breve			Classe di Carico Permanente		
n culmi	8,000	[/]	n culmi	8,000	[/]	n culmi	8,000	[/]
D culmi	75,000	[mm]	D culmi	75,000	[mm]	D culmi	75,000	[mm]
s culmi	8,000	[mm]	s culmi	8,000	[mm]	s culmi	8,000	[mm]
fv	1,847	[Mpa]	fv	1,412	[Mpa]	fv	1,195	[Mpa]
molt	849,911	[mm ⁴]	molt	849,911	[mm ⁴]	molt	849,911	[mm ⁴]
Vi	1,569	[kNm]	Vi	1,200	[kNm]	Vi	1,016	[kNm]
Vr	12,556	[kNm]	Vr	9,601	[kNm]	Vr	8,124	[kNm]
Vd	9,820	[kNm]	Vd	0,295	[kNm]	Vd	0,003	[kNm]
Verifica	VERIFICATA		Verifica	VERIFICATA		Verifica	VERIFICATA	

VERIFICA TAGLIO - PILASTRO 17								
Classe di Carico Istantanea			Classe di Carico Breve			Classe di Carico Permanente		
n culmi	8,000	[/]	n culmi	8,000	[/]	n culmi	8,000	[/]
D culmi	75,000	[mm]	D culmi	75,000	[mm]	D culmi	75,000	[mm]
s culmi	8,000	[mm]	s culmi	8,000	[mm]	s culmi	8,000	[mm]
fv	1,847	[Mpa]	fv	1,412	[Mpa]	fv	1,195	[Mpa]
molt	849,911	[mm ⁴]	molt	849,911	[mm ⁴]	molt	849,911	[mm ⁴]
Vi	1,569	[kNm]	Vi	1,200	[kNm]	Vi	1,016	[kNm]
Vr	12,556	[kNm]	Vr	9,601	[kNm]	Vr	8,124	[kNm]
Vd	6,820	[kNm]	Vd	0,520	[kNm]	Vd	0,083	[kNm]
Verifica	VERIFICATA		Verifica	VERIFICATA		Verifica	VERIFICATA	

Si nota come per i pilastri siano necessari 8 culmi di moso per resistere a taglio. Per quanto riguarda gli altri elementi, meno sollecitati, si riporta un resoconto:

- Travi Principali → Verifiche soddisfatte con 4 culmi;
- Travi Secondarie → Verifiche soddisfatte con 2 culmi;
- Pilastri Foglia #1e #2 → Verifiche soddisfatte con 6 culmi

5.1.3. Verifica a Sforzo Normale

I pilastri vengono verificati a sforzo normale seguendo la formula:

$$N_{cr} \geq N_{cd}$$

In cui

N_{cd} è la sollecitazione massima normale;

N_{cr} è la resistenza a sforzo assiale, calcolata come segue:

$$N_{cr} = \frac{P_c + P_e}{2c} - \sqrt{\left(\frac{P_c + P_e}{2c}\right)^2 - \frac{P_c * P_e}{c}}$$

- $P_c = \sum f_c * A_i$ è la capacità di schiacciamento. In cui f_c è la resistenza a compressione di progetto ed A_i è l'area di un singolo culmo;
- $c = 0,8$ è un coefficiente (Zahn, 1993).
- P_e è la capacità ad instabilità;

$$P_e = \frac{n * \pi^2 * E_d * I_{min} * C_{bow}}{(KL)^2}$$

In cui:

- E_d è il modulo elastico a flessione parallela alla fibra;
- I_{min} è il momento d'inerzia di un singolo culmo di bambù;
- n è il numero di culmi;
- K è il coefficiente di lunghezza effettiva che, nel caso in cui si consideri uno schema incastro-cerniera senza vincoli laterali, risulta essere pari a 2,10;
- L è la lunghezza dell'elemento;
- C_{bow} è un fattore di riduzione che tiene conto della non linearità dei culmi, calcolato come segue:

$$C_{bow} = 1 - \frac{b_0}{0,02}$$

Dove b_0 è l'arco massimo di inflessione, calcolato come segue:

$$b_0 = \frac{b_{max}}{L}$$

In cui b_{max} è la distanza massima perpendicolare dal centro della sezione trasversale del culmo, pari a 5 mm per $L > 2m$ e 10 mm viceversa.

Di seguito i risultati relativi alla pilastrata della foglia numero 1:

VERIFICA A SFORZO NORMALE PILASTRO 1

Classe di Carico Istantanea			Classe di Carico Breve			Classe di Carico Permanente		
n culmi	10,000	[/]	n culmi	10,000	[/]	n culmi	10,000	[/]
D culmi	75,000	[mm]	D culmi	75,000	[mm]	D culmi	75,000	[mm]
s culmi	8,000	[mm]	s culmi	8,000	[mm]	s culmi	8,000	[mm]
fc	23,235	[Mpa]	fc	17,768	[Mpa]	fc	15,034	[Mpa]
Ai	1683,894	[mm ⁴]	Ai	1683,894	[mm ⁴]	Ai	1683,894	[mm ⁴]
ΣAi	16838,937	[mm ⁴]	ΣAi	16838,937	[mm ⁴]	ΣAi	16838,937	[mm ⁴]
Pc	391,248	[kNm]	Pc	299,190	[kNm]	Pc	253,161	[kNm]
Ed	13260,000	[MPa]	Ed	12600,000	[MPa]	Ed	5970,000	[MPa]
Imin	958345,981	[mm ⁴]	Imin	958345,981	[mm ⁴]	Imin	958345,981	[mm ⁴]
bmax	5,000	[mm]	bmax	5,000	[mm]	bmax	5,000	[mm]
L	2350,000	[mm]	L	2350,000	[mm]	L	2350,000	[mm]
b0	0,002	[mm]	b0	0,002	[mm]	b0	0,002	[mm]
Cbow	0,894	[/]	Cbow	0,894	[/]	Cbow	0,894	[/]
K	2,100	[/]	K	2,100	[/]	K	2,100	[/]
Pe	46,020	[kN/m]	Pe	43,729	[kN/m]	Pe	20,719	[kN/m]
c	0,800	[/]	c	0,800	[/]	c	0,800	[/]
Ncr	44,858	[kN/m]	Ncr	42,334	[kN/m]	Ncr	20,363	[kN/m]
Ncd	3,960	[kN/m]	Ncd	2,440	[kN/m]	Ncd	0,000	[kN/m]
Verifica	VERIFICATA		Verifica	VERIFICATA		Verifica	VERIFICATA	

VERIFICA A SFORZO NORMALE PILASTRO 2

Classe di Carico Istantanea			Classe di Carico Breve			Classe di Carico Permanente		
n culmi	10,000	[/]	n culmi	10,000	[/]	n culmi	10,000	[/]
D culmi	75,000	[mm]	D culmi	75,000	[mm]	D culmi	75,000	[mm]
s culmi	8,000	[mm]	s culmi	8,000	[mm]	s culmi	8,000	[mm]
fc	23,235	[Mpa]	fc	17,768	[Mpa]	fc	15,034	[Mpa]
Ai	1683,894	[mm ⁴]	Ai	1683,894	[mm ⁴]	Ai	1683,894	[mm ⁴]
ΣAi	16838,937	[mm ⁴]	ΣAi	16838,937	[mm ⁴]	ΣAi	16838,937	[mm ⁴]
Pc	391,248	[kNm]	Pc	299,190	[kNm]	Pc	253,161	[kNm]
Ed	13260,000	[MPa]	Ed	12600,000	[MPa]	Ed	5970,000	[MPa]
Imin	958345,981	[mm ⁴]	Imin	958345,981	[mm ⁴]	Imin	958345,981	[mm ⁴]
bmax	5,000	[mm]	bmax	5,000	[mm]	bmax	5,000	[mm]
L	2660,000	[mm]	L	2660,000	[mm]	L	2660,000	[mm]
b0	0,002	[mm]	b0	0,002	[mm]	b0	0,002	[mm]
Cbow	0,906	[/]	Cbow	0,906	[/]	Cbow	0,906	[/]
K	2,100	[/]	K	2,100	[/]	K	2,100	[/]
Pe	36,417	[kN/m]	Pe	34,604	[kN/m]	Pe	16,396	[kN/m]
c	0,800	[/]	c	0,800	[/]	c	0,800	[/]
Ncr	35,700	[kN/m]	Ncr	33,746	[kN/m]	Ncr	16,175	[kN/m]
Ncd	13,190	[kN/m]	Ncd	1,530	[kN/m]	Ncd	0,270	[kN/m]
Verifica	VERIFICATA		Verifica	VERIFICATA		Verifica	VERIFICATA	

VERIFICA A SFORZO NORMALE PILASTRO 3

Classe di Carico Istantanea			Classe di Carico Breve			Classe di Carico Permanente		
n culmi	10,000	[/]	n culmi	10,000	[/]	n culmi	10,000	[/]
D culmi	75,000	[mm]	D culmi	75,000	[mm]	D culmi	75,000	[mm]
s culmi	8,000	[mm]	s culmi	8,000	[mm]	s culmi	8,000	[mm]
fc	23,235	[Mpa]	fc	17,768	[Mpa]	fc	15,034	[Mpa]
Ai	1683,894	[mm^4]	Ai	1683,894	[mm^4]	Ai	1683,894	[mm^4]
ΣAi	16838,937	[mm^4]	ΣAi	16838,937	[mm^4]	ΣAi	16838,937	[mm^4]
Pc	391,248	[kNm]	Pc	299,190	[kNm]	Pc	253,161	[kNm]
Ed	13260,000	[MPa]	Ed	12600,000	[MPa]	Ed	5970,000	[MPa]
Imin	958345,981	[mm^4]	Imin	958345,981	[mm^4]	Imin	958345,981	[mm^4]
bmax	5,000	[mm]	bmax	5,000	[mm]	bmax	5,000	[mm]
L	2970,000	[mm]	L	2970,000	[mm]	L	2970,000	[mm]
b0	0,002	[mm]	b0	0,002	[mm]	b0	0,002	[mm]
Cbow	0,916	[/]	Cbow	0,916	[/]	Cbow	0,916	[/]
K	2,100	[/]	K	2,100	[/]	K	2,100	[/]
Pe	29,527	[kN/m]	Pe	28,058	[kN/m]	Pe	13,294	[kN/m]
c	0,800	[/]	c	0,800	[/]	c	0,800	[/]
Ncr	29,061	[kN/m]	Ncr	27,501	[kN/m]	Ncr	13,150	[kN/m]
Ncd	10,620	[kN/m]	Ncd	0,000	[kN/m]	Ncd	0,063	[kN/m]
Verifica	VERIFICATA		Verifica	VERIFICATA		Verifica	VERIFICATA	

VERIFICA A SFORZO NORMALE PILASTRO 4

Classe di Carico Istantanea			Classe di Carico Breve			Classe di Carico Permanente		
n culmi	10,000	[/]	n culmi	10,000	[/]	n culmi	10,000	[/]
D culmi	75,000	[mm]	D culmi	75,000	[mm]	D culmi	75,000	[mm]
s culmi	8,000	[mm]	s culmi	8,000	[mm]	s culmi	8,000	[mm]
fc	23,235	[Mpa]	fc	17,768	[Mpa]	fc	15,034	[Mpa]
Ai	1683,894	[mm^4]	Ai	1683,894	[mm^4]	Ai	1683,894	[mm^4]
ΣAi	16838,937	[mm^4]	ΣAi	16838,937	[mm^4]	ΣAi	16838,937	[mm^4]
Pc	391,248	[kNm]	Pc	299,190	[kNm]	Pc	253,161	[kNm]
Ed	13260,000	[MPa]	Ed	12600,000	[MPa]	Ed	5970,000	[MPa]
Imin	958345,981	[mm^4]	Imin	958345,981	[mm^4]	Imin	958345,981	[mm^4]
bmax	5,000	[mm]	bmax	5,000	[mm]	bmax	5,000	[mm]
L	3270,000	[mm]	L	3270,000	[mm]	L	3270,000	[mm]
b0	0,002	[mm]	b0	0,002	[mm]	b0	0,002	[mm]
Cbow	0,924	[/]	Cbow	0,924	[/]	Cbow	0,924	[/]
K	2,100	[/]	K	2,100	[/]	K	2,100	[/]
Pe	24,564	[kN/m]	Pe	23,341	[kN/m]	Pe	11,059	[kN/m]
c	0,800	[/]	c	0,800	[/]	c	0,800	[/]
Ncr	24,243	[kN/m]	Ncr	22,959	[kN/m]	Ncr	10,960	[kN/m]
Ncd	5,670	[kN/m]	Ncd	0,766	[kN/m]	Ncd	0,180	[kN/m]
Verifica	VERIFICATA		Verifica	VERIFICATA		Verifica	VERIFICATA	

VERIFICA A SFORZO NORMALE PILASTRO 5

Classe di Carico Istantanea			Classe di Carico Breve			Classe di Carico Permanente		
n culmi	10,000	[/]	n culmi	10,000	[/]	n culmi	10,000	[/]
D culmi	75,000	[mm]	D culmi	75,000	[mm]	D culmi	75,000	[mm]
s culmi	8,000	[mm]	s culmi	8,000	[mm]	s culmi	8,000	[mm]
fc	23,235	[Mpa]	fc	17,768	[Mpa]	fc	15,034	[Mpa]
Ai	1683,894	[mm^4]	Ai	1683,894	[mm^4]	Ai	1683,894	[mm^4]
ΣAi	16838,937	[mm^4]	ΣAi	16838,937	[mm^4]	ΣAi	16838,937	[mm^4]
Pc	391,248	[kNm]	Pc	299,190	[kNm]	Pc	253,161	[kNm]
Ed	13260,000	[MPa]	Ed	12600,000	[MPa]	Ed	5970,000	[MPa]
Imin	958345,981	[mm^4]	Imin	958345,981	[mm^4]	Imin	958345,981	[mm^4]
bmax	5,000	[mm]	bmax	5,000	[mm]	bmax	5,000	[mm]
L	3570,000	[mm]	L	3570,000	[mm]	L	3570,000	[mm]
b0	0,001	[mm]	b0	0,001	[mm]	b0	0,001	[mm]
Cbow	0,930	[/]	Cbow	0,930	[/]	Cbow	0,930	[/]
K	2,100	[/]	K	2,100	[/]	K	2,100	[/]
Pe	20,752	[kN/m]	Pe	19,719	[kN/m]	Pe	9,343	[kN/m]
c	0,800	[/]	c	0,800	[/]	c	0,800	[/]
Ncr	20,525	[kN/m]	Ncr	19,449	[kN/m]	Ncr	9,273	[kN/m]
Ncd	5,560	[kN/m]	Ncd	3,350	[kN/m]	Ncd	0,000	[kN/m]
Verifica	VERIFICATA		Verifica	VERIFICATA		Verifica	VERIFICATA	

VERIFICA A SFORZO NORMALE PILASTRO 6

Classe di Carico Istantanea			Classe di Carico Breve			Classe di Carico Permanente		
n culmi	10,000	[/]	n culmi	10,000	[/]	n culmi	10,000	[/]
D culmi	75,000	[mm]	D culmi	75,000	[mm]	D culmi	75,000	[mm]
s culmi	8,000	[mm]	s culmi	8,000	[mm]	s culmi	8,000	[mm]
fc	23,235	[Mpa]	fc	17,768	[Mpa]	fc	15,034	[Mpa]
Ai	1683,894	[mm^4]	Ai	1683,894	[mm^4]	Ai	1683,894	[mm^4]
ΣAi	16838,937	[mm^4]	ΣAi	16838,937	[mm^4]	ΣAi	16838,937	[mm^4]
Pc	391,248	[kNm]	Pc	299,190	[kNm]	Pc	253,161	[kNm]
Ed	13260,000	[MPa]	Ed	12600,000	[MPa]	Ed	5970,000	[MPa]
Imin	958345,981	[mm^4]	Imin	958345,981	[mm^4]	Imin	958345,981	[mm^4]
bmax	5,000	[mm]	bmax	5,000	[mm]	bmax	5,000	[mm]
L	4040,000	[mm]	L	4040,000	[mm]	L	4040,000	[mm]
b0	0,001	[mm]	b0	0,001	[mm]	b0	0,001	[mm]
Cbow	0,938	[/]	Cbow	0,938	[/]	Cbow	0,938	[/]
K	2,100	[/]	K	2,100	[/]	K	2,100	[/]
Pe	16,346	[kN/m]	Pe	15,533	[kN/m]	Pe	7,360	[kN/m]
c	0,800	[/]	c	0,800	[/]	c	0,800	[/]
Ncr	16,206	[kN/m]	Ncr	15,366	[kN/m]	Ncr	7,316	[kN/m]
Ncd	8,130	[kN/m]	Ncd	0,000	[kN/m]	Ncd	0,138	[kN/m]
Verifica	VERIFICATA		Verifica	VERIFICATA		Verifica	VERIFICATA	

VERIFICA A SFORZO NORMALE PILASTRO 7								
Classe di Carico Istantanea			Classe di Carico Breve			Classe di Carico Permanente		
n culmi	12,000	[/]	n culmi	12,000	[/]	n culmi	12,000	[/]
D culmi	75,000	[mm]	D culmi	75,000	[mm]	D culmi	75,000	[mm]
s culmi	8,000	[mm]	s culmi	8,000	[mm]	s culmi	8,000	[mm]
fc	23,235	[Mpa]	fc	17,768	[Mpa]	fc	15,034	[Mpa]
Ai	1683,894	[mm ⁴]	Ai	1683,894	[mm ⁴]	Ai	1683,894	[mm ⁴]
ΣAi	20206,724	[mm ⁴]	ΣAi	20206,724	[mm ⁴]	ΣAi	20206,724	[mm ⁴]
Pc	469,498	[kNm]	Pc	359,028	[kNm]	Pc	303,793	[kNm]
Ed	13260,000	[MPa]	Ed	12600,000	[MPa]	Ed	5970,000	[MPa]
Imin	958345,981	[mm ⁴]	Imin	958345,981	[mm ⁴]	Imin	958345,981	[mm ⁴]
bmax	5,000	[mm]	bmax	5,000	[mm]	bmax	5,000	[mm]
L	4540,000	[mm]	L	4540,000	[mm]	L	4540,000	[mm]
b0	0,001	[mm]	b0	0,001	[mm]	b0	0,001	[mm]
Cbow	0,945	[/]	Cbow	0,945	[/]	Cbow	0,945	[/]
K	2,100	[/]	K	2,100	[/]	K	2,100	[/]
Pe	15,646	[kN/m]	Pe	14,867	[kN/m]	Pe	7,044	[kN/m]
c	0,800	[/]	c	0,800	[/]	c	0,800	[/]
Ncr	15,539	[kN/m]	Ncr	14,741	[kN/m]	Ncr	7,011	[kN/m]
Ncd	13,670	[kN/m]	Ncd	8,950	[kN/m]	Ncd	0,469	[kN/m]
Verifica	VERIFICATA		Verifica	VERIFICATA		Verifica	VERIFICATA	

Si nota che quindi sono necessari 10 culmi per ciascun pilastro per resistere alla compressione, tranne nel caso del pilastro 7, in cui è necessario inserire 12 culmi di bambù Moso.

Si evince quindi che questa verifica è più onerosa per i pilastri rispetto a quella a taglio, e che quindi i numeri di culmi da inserire per questa categoria di elementi strutturali sono da aggiornare.

5.1.4. Verifica a Pressoflessione

Per la verifica a pressoflessione la sollecitazione combinata di sforzo normale di compressione massima e momento flettente massimo deve rientrare nel dominio definito dalla seguente formula:

$$\frac{N_{cd}}{N_{cr}} + B * \frac{M_d}{M_r} \leq 1$$

In cui i termini di sollecitazione e resistenza sono gli stessi indicati nei paragrafi precedenti, mentre il coefficiente B è un fattore di amplificazione del momento calcolato come:

$$B = \left(1 - \frac{N_{cd}}{P_e}\right)^{-1}$$

Di seguito i risultati della verifica per gli elementi più sollecitati, ovvero i pilastri della foglia #3.

VERIFICA A PRESSOFLESSIONE PILASTRO 13								
Classe di Carico Istantanea			Classe di Carico Breve			Classe di Carico Permanente		
n culmi	36,000	[/]	n culmi	36,000	[/]	n culmi	36,000	[/]
D culmi	75,000	[mm]	D culmi	75,000	[mm]	D culmi	75,000	[mm]
s culmi	8,000	[mm]	s culmi	8,000	[mm]	s culmi	8,000	[mm]
fc	23,235	[Mpa]	fc	17,768	[Mpa]	fc	15,034	[Mpa]
Ai	1683,894	[mm^4]	Ai	1683,894	[mm^4]	Ai	1683,894	[mm^4]
ΣAi	60620,172	[mm^4]	ΣAi	60620,172	[mm^4]	ΣAi	60620,172	[mm^4]
Pc	1408,495	[kNm]	Pc	1077,084	[kNm]	Pc	911,379	[kNm]
Ed	13260,000	[MPa]	Ed	12600,000	[MPa]	Ed	5970,000	[MPa]
Imin	958345,981	[mm^4]	Imin	958345,981	[mm^4]	Imin	958345,981	[mm^4]
bmax	5,000	[mm]	bmax	5,000	[mm]	bmax	5,000	[mm]
L	2350,000	[mm]	L	2350,000	[mm]	L	2350,000	[mm]
b0	0,002	[mm]	b0	0,002	[mm]	b0	0,002	[mm]
Cbow	0,894	[/]	Cbow	0,894	[/]	Cbow	0,894	[/]
K	2,100	[/]	K	2,100	[/]	K	2,100	[/]
Pe	165,671	[kN/m]	Pe	157,424	[kN/m]	Pe	74,589	[kN/m]
c	0,800	[/]	c	0,800	[/]	c	0,800	[/]
Ncr	161,488	[kN/m]	Ncr	152,401	[kN/m]	Ncr	73,307	[kN/m]
Ncd	6,000	[kN/m]	Ncd	4,220	[kN/m]	Ncd	0,000	[kN/m]
fm	30,762	[Mpa]	fm	23,524	[Mpa]	fm	19,905	[Mpa]
Si	0,000	[mm^4]	Si	0,000	[mm^4]	Si	0,000	[mm^4]
Mi	0,786	[kNm]	Mi	0,601	[kNm]	Mi	0,509	[kNm]
Mr	28,301	[kNm]	Mr	21,642	[kNm]	Mr	18,312	[kNm]
Md	25,450	[kNm]	Md	2,360	[kNm]	Md	0,142	[kNm]
B	1,038	[/]	B	1,028	[/]	B	1,000	[/]
Pressoflex	0,970	[/]	Pressoflex	0,140	[/]	Pressoflex	0,008	[/]
Verifica	VERIFICATA		Verifica	VERIFICATA		Verifica	VERIFICATA	

VERIFICA A PRESSOFLESSIONE PILASTRO 14

Classe di Carico Istantanea			Classe di Carico Breve			Classe di Carico Permanente		
n culmi	36,000	[/]	n culmi	36,000	[/]	n culmi	36,000	[/]
D culmi	75,000	[mm]	D culmi	75,000	[mm]	D culmi	75,000	[mm]
s culmi	8,000	[mm]	s culmi	8,000	[mm]	s culmi	8,000	[mm]
fc	23,235	[Mpa]	fc	17,768	[Mpa]	fc	15,034	[Mpa]
Ai	1683,894	[mm ⁴]	Ai	1683,894	[mm ⁴]	Ai	1683,894	[mm ⁴]
ΣAi	60620,172	[mm ⁴]	ΣAi	60620,172	[mm ⁴]	ΣAi	60620,172	[mm ⁴]
Pc	1408,495	[kNm]	Pc	1077,084	[kNm]	Pc	911,379	[kNm]
Ed	13260,000	[MPa]	Ed	12600,000	[MPa]	Ed	5970,000	[MPa]
Imin	958345,981	[mm ⁴]	Imin	958345,981	[mm ⁴]	Imin	958345,981	[mm ⁴]
bmax	5,000	[mm]	bmax	5,000	[mm]	bmax	5,000	[mm]
L	2660,000	[mm]	L	2660,000	[mm]	L	2660,000	[mm]
b0	0,002	[mm]	b0	0,002	[mm]	b0	0,002	[mm]
Cbow	0,906	[/]	Cbow	0,906	[/]	Cbow	0,906	[/]
K	2,100	[/]	K	2,100	[/]	K	2,100	[/]
Pe	131,100	[kN/m]	Pe	124,574	[kN/m]	Pe	59,025	[kN/m]
c	0,800	[/]	c	0,800	[/]	c	0,800	[/]
Ncr	128,519	[kN/m]	Ncr	121,485	[kN/m]	Ncr	58,230	[kN/m]
Ncd	2,450	[kN/m]	Ncd	1,570	[kN/m]	Ncd	0,000	[kN/m]
fm	30,762	[Mpa]	fm	23,524	[Mpa]	fm	19,905	[Mpa]
Si	0,000	[mm ⁴]	Si	0,000	[mm ⁴]	Si	0,000	[mm ⁴]
Mi	0,786	[kNm]	Mi	0,601	[kNm]	Mi	0,509	[kNm]
Mr	28,301	[kNm]	Mr	21,642	[kNm]	Mr	18,312	[kNm]
Md	25,690	[kNm]	Md	2,270	[kNm]	Md	0,126	[kNm]
B	1,019	[/]	B	1,013	[/]	B	1,000	[/]
Pressoflex	0,944	[/]	Pressoflex	0,119	[/]	Pressoflex	0,007	[/]
Verifica	VERIFICATA		Verifica	VERIFICATA		Verifica	VERIFICATA	

VERIFICA A PRESSOFLESSIONE PILASTRO 15

Classe di Carico Istantanea			Classe di Carico Breve			Classe di Carico Permanente		
n culmi	36,000	[/]	n culmi	36,000	[/]	n culmi	36,000	[/]
D culmi	75,000	[mm]	D culmi	75,000	[mm]	D culmi	75,000	[mm]
s culmi	8,000	[mm]	s culmi	8,000	[mm]	s culmi	8,000	[mm]
fc	23,235	[Mpa]	fc	17,768	[Mpa]	fc	15,034	[Mpa]
Ai	1683,894	[mm ⁴]	Ai	1683,894	[mm ⁴]	Ai	1683,894	[mm ⁴]
ΣAi	60620,172	[mm ⁴]	ΣAi	60620,172	[mm ⁴]	ΣAi	60620,172	[mm ⁴]
Pc	1408,495	[kNm]	Pc	1077,084	[kNm]	Pc	911,379	[kNm]
Ed	13260,000	[MPa]	Ed	12600,000	[MPa]	Ed	5970,000	[MPa]
Imin	958345,981	[mm ⁴]	Imin	958345,981	[mm ⁴]	Imin	958345,981	[mm ⁴]
bmax	5,000	[mm]	bmax	5,000	[mm]	bmax	5,000	[mm]
L	2970,000	[mm]	L	2970,000	[mm]	L	2970,000	[mm]
b0	0,002	[mm]	b0	0,002	[mm]	b0	0,002	[mm]
Cbow	0,916	[/]	Cbow	0,916	[/]	Cbow	0,916	[/]
K	2,100	[/]	K	2,100	[/]	K	2,100	[/]
Pe	106,299	[kN/m]	Pe	101,008	[kN/m]	Pe	47,859	[kN/m]
c	0,800	[/]	c	0,800	[/]	c	0,800	[/]
Ncr	104,620	[kN/m]	Ncr	99,004	[kN/m]	Ncr	47,340	[kN/m]
Ncd	5,410	[kN/m]	Ncd	1,730	[kN/m]	Ncd	0,092	[kN/m]
fm	30,762	[Mpa]	fm	23,524	[Mpa]	fm	19,905	[Mpa]
Si	0,000	[mm ⁴]	Si	0,000	[mm ⁴]	Si	0,000	[mm ⁴]
Mi	0,786	[kNm]	Mi	0,601	[kNm]	Mi	0,509	[kNm]
Mr	28,301	[kNm]	Mr	21,642	[kNm]	Mr	18,312	[kNm]
Md	22,630	[kNm]	Md	2,625	[kNm]	Md	0,109	[kNm]
B	1,054	[/]	B	1,017	[/]	B	1,002	[/]
Pressoflex	0,894	[/]	Pressoflex	0,141	[/]	Pressoflex	0,008	[/]
Verifica	VERIFICATA		Verifica	VERIFICATA		Verifica	VERIFICATA	

VERIFICA A PRESSOFLESSIONE PILASTRO 16

Classe di Carico Istantanea			Classe di Carico Breve			Classe di Carico Permanente		
n culmi	36,000	[/]	n culmi	36,000	[/]	n culmi	36,000	[/]
D culmi	75,000	[mm]	D culmi	75,000	[mm]	D culmi	75,000	[mm]
s culmi	8,000	[mm]	s culmi	8,000	[mm]	s culmi	8,000	[mm]
fc	23,235	[Mpa]	fc	17,768	[Mpa]	fc	15,034	[Mpa]
Ai	1683,894	[mm ⁴]	Ai	1683,894	[mm ⁴]	Ai	1683,894	[mm ⁴]
ΣAi	60620,172	[mm ⁴]	ΣAi	60620,172	[mm ⁴]	ΣAi	60620,172	[mm ⁴]
Pc	1408,495	[kNm]	Pc	1077,084	[kNm]	Pc	911,379	[kNm]
Ed	13260,000	[MPa]	Ed	12600,000	[MPa]	Ed	5970,000	[MPa]
Imin	958345,981	[mm ⁴]	Imin	958345,981	[mm ⁴]	Imin	958345,981	[mm ⁴]
bmax	5,000	[mm]	bmax	5,000	[mm]	bmax	5,000	[mm]
L	3270,000	[mm]	L	3270,000	[mm]	L	3270,000	[mm]
b0	0,002	[mm]	b0	0,002	[mm]	b0	0,002	[mm]
Cbow	0,924	[/]	Cbow	0,924	[/]	Cbow	0,924	[/]
K	2,100	[/]	K	2,100	[/]	K	2,100	[/]
Pe	88,429	[kN/m]	Pe	84,027	[kN/m]	Pe	39,813	[kN/m]
c	0,800	[/]	c	0,800	[/]	c	0,800	[/]
Ncr	87,276	[kN/m]	Ncr	82,653	[kN/m]	Ncr	39,456	[kN/m]
Ncd	4,050	[kN/m]	Ncd	1,970	[kN/m]	Ncd	0,000	[kN/m]
fm	30,762	[Mpa]	fm	23,524	[Mpa]	fm	19,905	[Mpa]
Si	0,000	[mm ⁴]	Si	0,000	[mm ⁴]	Si	0,000	[mm ⁴]
Mi	0,786	[kNm]	Mi	0,601	[kNm]	Mi	0,509	[kNm]
Mr	28,301	[kNm]	Mr	21,642	[kNm]	Mr	18,312	[kNm]
Md	23,910	[kNm]	Md	2,730	[kNm]	Md	0,083	[kNm]
B	1,048	[/]	B	1,024	[/]	B	1,000	[/]
Pressoflex	0,932	[/]	Pressoflex	0,153	[/]	Pressoflex	0,005	[/]
Verifica	VERIFICATA		Verifica	VERIFICATA		Verifica	VERIFICATA	

VERIFICA A PRESSOFLESSIONE PILASTRO 17								
Classe di Carico Istantanea			Classe di Carico Breve			Classe di Carico Permanente		
n culmi	36,000	[/]	n culmi	36,000	[/]	n culmi	36,000	[/]
D culmi	75,000	[mm]	D culmi	75,000	[mm]	D culmi	75,000	[mm]
s culmi	8,000	[mm]	s culmi	8,000	[mm]	s culmi	8,000	[mm]
fc	23,235	[Mpa]	fc	17,768	[Mpa]	fc	15,034	[Mpa]
Ai	1683,894	[mm ⁴]	Ai	1683,894	[mm ⁴]	Ai	1683,894	[mm ⁴]
ΣAi	60620,172	[mm ⁴]	ΣAi	60620,172	[mm ⁴]	ΣAi	60620,172	[mm ⁴]
Pc	1408,495	[kNm]	Pc	1077,084	[kNm]	Pc	911,379	[kNm]
Ed	13260,000	[MPa]	Ed	12600,000	[MPa]	Ed	5970,000	[MPa]
Imin	958345,981	[mm ⁴]	Imin	958345,981	[mm ⁴]	Imin	958345,981	[mm ⁴]
bmax	5,000	[mm]	bmax	5,000	[mm]	bmax	5,000	[mm]
L	3570,000	[mm]	L	3570,000	[mm]	L	3570,000	[mm]
b0	0,001	[mm]	b0	0,001	[mm]	b0	0,001	[mm]
Cbow	0,930	[/]	Cbow	0,930	[/]	Cbow	0,930	[/]
K	2,100	[/]	K	2,100	[/]	K	2,100	[/]
Pe	74,707	[kN/m]	Pe	70,989	[kN/m]	Pe	33,635	[kN/m]
c	0,800	[/]	c	0,800	[/]	c	0,800	[/]
Ncr	73,889	[kN/m]	Ncr	70,015	[kN/m]	Ncr	33,381	[kN/m]
Ncd	11,600	[kN/m]	Ncd	5,010	[kN/m]	Ncd	0,273	[kN/m]
fm	30,762	[Mpa]	fm	23,524	[Mpa]	fm	19,905	[Mpa]
Si	0,000	[mm ⁴]	Si	0,000	[mm ⁴]	Si	0,000	[mm ⁴]
Mi	0,786	[kNm]	Mi	0,601	[kNm]	Mi	0,509	[kNm]
Mr	28,301	[kNm]	Mr	21,642	[kNm]	Mr	18,312	[kNm]
Md	18,380	[kNm]	Md	3,310	[kNm]	Md	0,183	[kNm]
B	1,184	[/]	B	1,076	[/]	B	1,008	[/]
Pressoflex	0,926	[/]	Pressoflex	0,236	[/]	Pressoflex	0,018	[/]
Verifica	VERIFICATA		Verifica	VERIFICATA		Verifica	VERIFICATA	

Si nota che, per rientrare nelle imitazioni imposte dal dominio, sono necessari 36 culmi di bambù per ciascun pilastro. Per quanto riguarda gli elementi restanti, meno sollecitati, vediamo di seguito il numero di culmi necessari:

- Travi Principali → 16 culmi;
- Travi secondarie → 8 culmi;
- Pilastri foglie #1 #2 → 36 culmi.

Questa verifica risulta essere la più restrittiva, ed iniziamo a vedere come la realizzazione della struttura in bambù Moso sia difficoltosa, non tanto per gli elementi strutturali in sé, ma per la difficoltà di raccordare tanti culmi tramite le connessioni.

5.1.5. Verifica a TensoFlessione

Per quanto concerne la verifica a tensoflessione la formula di riferimento è la seguente:

$$\frac{N_{td}}{N_{tr}} + \frac{M_d}{M_r} \leq 1$$

In cui i termini di sollecitazione e momento resistente assumono lo stesso significato dei paragrafi precedenti, mentre lo sforzo di trazione resistente è calcolato come:

$$N_{tr} = n * f_t * A_{min}$$

- n è il numero di culmi;
- f_t è la resistenza a trazione di progetto;
- A_{min} è l'area della sezione trasversale del culmo.

Di seguito i risultati delle verifiche per i pilastri della foglia #3. Nuovamente la foglia più grande, la numero 3, risulta essere la più sollecitata a SLU data la superficie maggiore sollecitata dal vento.

VERIFICA A TENSOFLESSIONE PILASTRO 13								
Classe di Carico Istantanea			Classe di Carico Breve			Classe di Carico Permanente		
n culmi	36,000	[/]	n culmi	36,000	[/]	n culmi	36,000	[/]
D culmi	75,000	[mm]	D culmi	75,000	[mm]	D culmi	75,000	[mm]
s culmi	8,000	[mm]	s culmi	8,000	[mm]	s culmi	8,000	[mm]
ft	46,002	[Mpa]	fc	35,178	[Mpa]	fc	29,766	[Mpa]
Ai	1683,894	[mm^4]	Ai	1683,894	[mm^4]	Ai	1683,894	[mm^4]
Ntr	2788,649	[kN/m]	Ntr	2132,496	[kN/m]	Ntr	1804,420	[kN/m]
Ntd	0,000	[kN/m]	Ntd	0,000	[kN/m]	Ntd	0,172	[kN/m]
fm	30,762	[Mpa]	fm	23,524	[Mpa]	fm	19,905	[Mpa]
Si	0,000	[mm^4]	Si	0,000	[mm^4]	Si	0,000	[mm^4]
Mi	0,786	[kNm]	Mi	0,601	[kNm]	Mi	0,509	[kNm]
Mr	28,301	[kNm]	Mr	21,642	[kNm]	Mr	18,312	[kNm]
Md	25,450	[kNm]	Md	2,360	[kNm]	Md	0,142	[kNm]
Tensoflex	0,899	[/]	Tensoflex	0,109	[/]	Tensoflex	0,008	[/]
Verifica	VERIFICATA		Verifica	VERIFICATA		Verifica	VERIFICATA	

VERIFICA A TENSOFLESSIONE PILASTRO 14

Classe di Carico Istantanea			Classe di Carico Breve			Classe di Carico Permanente		
n culmi	36,000	[/]	n culmi	36,000	[/]	n culmi	36,000	[/]
D culmi	75,000	[mm]	D culmi	75,000	[mm]	D culmi	75,000	[mm]
s culmi	8,000	[mm]	s culmi	8,000	[mm]	s culmi	8,000	[mm]
ft	46,002	[Mpa]	fc	35,178	[Mpa]	fc	29,766	[Mpa]
Ai	1683,894	[mm^4]	Ai	1683,894	[mm^4]	Ai	1683,894	[mm^4]
Ntr	2788,649	[kN/m]	Ntr	2132,496	[kN/m]	Ntr	1804,420	[kN/m]
Ntd	0,000	[kN/m]	Ntd	0,000	[kN/m]	Ntd	0,179	[kN/m]
fm	30,762	[Mpa]	fm	23,524	[Mpa]	fm	19,905	[Mpa]
Si	0,000	[mm^4]	Si	0,000	[mm^4]	Si	0,000	[mm^4]
Mi	0,786	[kNm]	Mi	0,601	[kNm]	Mi	0,509	[kNm]
Mr	28,301	[kNm]	Mr	21,642	[kNm]	Mr	18,312	[kNm]
Md	25,690	[kNm]	Md	2,270	[kNm]	Md	0,126	[kNm]
Tensoflex	0,908	[/]	Tensoflex	0,105	[/]	Tensoflex	0,007	[/]
Verifica	VERIFICATA		Verifica	VERIFICATA		Verifica	VERIFICATA	

VERIFICA A TENSOFLESSIONE PILASTRO 15

Classe di Carico Istantanea			Classe di Carico Breve			Classe di Carico Permanente		
n culmi	36,000	[/]	n culmi	36,000	[/]	n culmi	36,000	[/]
D culmi	75,000	[mm]	D culmi	75,000	[mm]	D culmi	75,000	[mm]
s culmi	8,000	[mm]	s culmi	8,000	[mm]	s culmi	8,000	[mm]
ft	46,002	[Mpa]	fc	35,178	[Mpa]	fc	29,766	[Mpa]
Ai	1683,894	[mm^4]	Ai	1683,894	[mm^4]	Ai	1683,894	[mm^4]
Ntr	2788,649	[kN/m]	Ntr	2132,496	[kN/m]	Ntr	1804,420	[kN/m]
Ntd	3,230	[kN/m]	Ntd	0,000	[kN/m]	Ntd	0,000	[kN/m]
fm	30,762	[Mpa]	fm	23,524	[Mpa]	fm	19,905	[Mpa]
Si	0,000	[mm^4]	Si	0,000	[mm^4]	Si	0,000	[mm^4]
Mi	0,786	[kNm]	Mi	0,601	[kNm]	Mi	0,509	[kNm]
Mr	28,301	[kNm]	Mr	21,642	[kNm]	Mr	18,312	[kNm]
Md	22,630	[kNm]	Md	2,625	[kNm]	Md	0,109	[kNm]
Tensoflex	0,801	[/]	Tensoflex	0,121	[/]	Tensoflex	0,006	[/]
Verifica	VERIFICATA		Verifica	VERIFICATA		Verifica	VERIFICATA	

VERIFICA A TENSOFFLESSIONE PILASTRO 16								
Classe di Carico Istantanea			Classe di Carico Breve			Classe di Carico Permanente		
n culmi	36,000	[/]	n culmi	36,000	[/]	n culmi	36,000	[/]
D culmi	75,000	[mm]	D culmi	75,000	[mm]	D culmi	75,000	[mm]
s culmi	8,000	[mm]	s culmi	8,000	[mm]	s culmi	8,000	[mm]
ft	46,002	[Mpa]	fc	35,178	[Mpa]	fc	29,766	[Mpa]
Ai	1683,894	[mm ⁴]	Ai	1683,894	[mm ⁴]	Ai	1683,894	[mm ⁴]
Ntr	2788,649	[kN/m]	Ntr	2132,496	[kN/m]	Ntr	1804,420	[kN/m]
Ntd	1,250	[kN/m]	Ntd	0,000	[kN/m]	Ntd	0,280	[kN/m]
fm	30,762	[Mpa]	fm	23,524	[Mpa]	fm	19,905	[Mpa]
Si	0,000	[mm ⁴]	Si	0,000	[mm ⁴]	Si	0,000	[mm ⁴]
Mi	0,786	[kNm]	Mi	0,601	[kNm]	Mi	0,509	[kNm]
Mr	28,301	[kNm]	Mr	21,642	[kNm]	Mr	18,312	[kNm]
Md	23,910	[kNm]	Md	2,730	[kNm]	Md	0,083	[kNm]
Tensoflex	0,845	[/]	Tensoflex	0,126	[/]	Tensoflex	0,005	[/]
Verifica	VERIFICATA		Verifica	VERIFICATA		Verifica	VERIFICATA	

VERIFICA A TENSOFFLESSIONE PILASTRO 17								
Classe di Carico Istantanea			Classe di Carico Breve			Classe di Carico Permanente		
n culmi	36,000	[/]	n culmi	36,000	[/]	n culmi	36,000	[/]
D culmi	75,000	[mm]	D culmi	75,000	[mm]	D culmi	75,000	[mm]
s culmi	8,000	[mm]	s culmi	8,000	[mm]	s culmi	8,000	[mm]
ft	46,002	[Mpa]	fc	35,178	[Mpa]	fc	29,766	[Mpa]
Ai	1683,894	[mm ⁴]	Ai	1683,894	[mm ⁴]	Ai	1683,894	[mm ⁴]
Ntr	2788,649	[kN/m]	Ntr	2132,496	[kN/m]	Ntr	1804,420	[kN/m]
Ntd	1,530	[kN/m]	Ntd	0,000	[kN/m]	Ntd	0,000	[kN/m]
fm	30,762	[Mpa]	fm	23,524	[Mpa]	fm	19,905	[Mpa]
Si	0,000	[mm ⁴]	Si	0,000	[mm ⁴]	Si	0,000	[mm ⁴]
Mi	0,786	[kNm]	Mi	0,601	[kNm]	Mi	0,509	[kNm]
Mr	28,301	[kNm]	Mr	21,642	[kNm]	Mr	18,312	[kNm]
Md	18,380	[kNm]	Md	3,310	[kNm]	Md	0,183	[kNm]
Tensoflex	0,650	[/]	Tensoflex	0,153	[/]	Tensoflex	0,010	[/]
Verifica	VERIFICATA		Verifica	VERIFICATA		Verifica	VERIFICATA	

In questo caso, i 36 culmi calcolati in precedenza risultano essere sufficienti, così come anche il numero di culmi imposti dalla verifica precedente per travi principali e secondarie.

5.1.6. Conclusioni e Modifica Strutturale

Di seguito si riporta una tabella che ricapitola il numero di culmi necessario per superare le verifiche a stato limite ultimo, utilizzando il bambù italiano Moso:

NUMERO CULMI - TRAVI					
FOGLIA #1		FOGLIA #2		FOGLIA #3	
N TRAVE	n culmi	N TRAVE	n culmi	N TRAVE	n culmi
1	16	24	16	48	16
2	16	25	16	49	16
3	16	26	16	50	16
4	16	27	16	51	16
5	16	28	16	52	16
6	16	29	16	53	16
7	16	30	8	54	8
8	16	31	8	55	8
9	16	32	8	56	8
10	8	33	8	57	8
11	8	34	8	58	8
12	8	35	8	59	8
13	8	36	8	60	8
14	8	37	8	61	8
15	8	38	8	62	8
16	8	39	8	63	8
17	8	40	8	64	8
18	8	41	8	65	8
19	8	42	8		
20	8	43	8		
21	8	44	8		
22	8	45	8		
23	8	46	8		
		47	8		

NUMERO CULMI - PILASTRI					
FOGLIA #1		FOGLIA #2		FOGLIA #3	
N PIL	n culmi	N PIL	n culmi	N PIL	n culmi
1	36	8	36	13	36
2	36	9	36	14	36
3	36	10	36	15	36
4	36	11	36	16	36
5	36	12	36	17	36
6	36				
7	36				

Alla luce di questi risultati si accantona l'idea di progettare utilizzando la specie *Phyllostachis Edulis* (Moso) in quanto necessiterebbe di veri e proprio "fasci" di culmi. La problematica che deriva da un'abbondanza tale di culmi per elemento strutturale riguarda, come anticipato, le connessioni. Infatti, creare delle connessioni che riescano a gestire la presenza di molti culmi risulta complesso e proibitivo, anche per una semplice questione di organizzazione degli spazi e degli incroci delle aste.

Per questa motivazione, nella speranza di ridurre il numero di culmi per elemento strutturale, si sceglie di passare all'utilizzo di una specie di bambù con sezioni più grandi e adeguate caratteristiche meccaniche: la *Guadua Angustifolia*. Nel paragrafo successivo si illustreranno le verifiche condotte sul modello realizzato con questo materiale.

5.2. Padiglione in Bambù Colombiano Guadua

Nel seguente paragrafo si riportano le verifiche effettuate sul padiglione in Guadua, ricavando le sollecitazioni dal modello Straus7 discusso nel capitolo 4. Si sottolinea che le formulazioni rimangono le stesse del paragrafo 5.1, ricavate dalla normativa ISO 22156.

5.2.1. Verifica a Flessione

Questa verifica sarà condotta per gli elementi trave (principali e secondarie) e la formula di riferimento viene riportata di seguito:

$$M_r \geq M_d$$

Si riporta di seguito il risultato per le travi principali della foglia #1, che risulta anche in questo caso essere la più sollecitata.

Per quanto riguarda gli altri elementi trave, non si inseriscono i valori numerici della verifica ma si fa un riassunto in coda a questo paragrafo.

VERIFICA MOMENTO FLETTENTE DORSO - TRAVE 1								
Classe di Carico Istantanea			Classe di Carico Breve			Classe di Carico Permanente		
n culmi	1	[/]	n culmi	1	[/]	n culmi	1	[/]
D culmi	150	[mm]	D culmi	150	[mm]	D culmi	150	[mm]
s culmi	15	[mm]	s culmi	15	[mm]	s culmi	15	[mm]
fm	33,9405	[Mpa]	fm	25,9545	[Mpa]	fm	21,9615	[Mpa]
Si	1,95623E-07	[mm^4]	Si	1,95623E-07	[mm^4]	Si	1,95623E-07	[mm^4]
Mi	6,640	[kNm]	Mi	5,077	[kNm]	Mi	4,296	[kNm]
Mr	6,640	[kNm]	Mr	5,077	[kNm]	Mr	4,296	[kNm]
Md	3,340	[kNm]	Md	0,539	[kNm]	Md	0,107	[kNm]
Verifica	VERIFICATA		Verifica	VERIFICATA		Verifica	VERIFICATA	

VERIFICA MOMENTO FLETTENTE DORSO - TRAVE 2								
Classe di Carico Istantanea			Classe di Carico Breve			Classe di Carico Permanente		
n culmi	1	[/]	n culmi	1	[/]	n culmi	1	[/]
D culmi	150	[mm]	D culmi	150	[mm]	D culmi	150	[mm]
s culmi	15	[mm]	s culmi	15	[mm]	s culmi	15	[mm]
fm	33,9405	[Mpa]	fm	25,9545	[Mpa]	fm	21,9615	[Mpa]
Si	1,95623E-07	[mm ⁴]	Si	1,95623E-07	[mm ⁴]	Si	1,95623E-07	[mm ⁴]
Mi	6,640	[kNm]	Mi	5,077	[kNm]	Mi	4,296	[kNm]
Mr	6,640	[kNm]	Mr	5,077	[kNm]	Mr	4,296	[kNm]
Md	5,330	[kNm]	Md	0,311	[kNm]	Md	0,077	[kNm]
Verifica	VERIFICATA		Verifica	VERIFICATA		Verifica	VERIFICATA	

VERIFICA MOMENTO FLETTENTE DORSO - TRAVE 3								
Classe di Carico Istantanea			Classe di Carico Breve			Classe di Carico Permanente		
n culmi	1	[/]	n culmi	1	[/]	n culmi	1	[/]
D culmi	150	[mm]	D culmi	150	[mm]	D culmi	150	[mm]
s culmi	15	[mm]	s culmi	15	[mm]	s culmi	15	[mm]
fm	33,9405	[Mpa]	fm	25,9545	[Mpa]	fm	21,9615	[Mpa]
Si	1,95623E-07	[mm ⁴]	Si	1,95623E-07	[mm ⁴]	Si	1,95623E-07	[mm ⁴]
Mi	6,640	[kNm]	Mi	5,077	[kNm]	Mi	4,296	[kNm]
Mr	6,640	[kNm]	Mr	5,077	[kNm]	Mr	4,296	[kNm]
Md	4,790	[kNm]	Md	0,211	[kNm]	Md	0,064	[kNm]
Verifica	VERIFICATA		Verifica	VERIFICATA		Verifica	VERIFICATA	

VERIFICA MOMENTO FLETTENTE FIANCO - TRAVE 4								
Classe di Carico Istantanea			Classe di Carico Breve			Classe di Carico Permanente		
n culmi	1	[/]	n culmi	1	[/]	n culmi	1	[/]
D culmi	150	[mm]	D culmi	150	[mm]	D culmi	150	[mm]
s culmi	15	[mm]	s culmi	15	[mm]	s culmi	15	[mm]
fm	33,9405	[Mpa]	fm	25,9545	[Mpa]	fm	21,9615	[Mpa]
Si	1,95623E-07	[mm ⁴]	Si	1,95623E-07	[mm ⁴]	Si	1,95623E-07	[mm ⁴]
Mi	6,640	[kNm]	Mi	5,077	[kNm]	Mi	4,296	[kNm]
Mr	6,640	[kNm]	Mr	5,077	[kNm]	Mr	4,296	[kNm]
Md	1,890	[kNm]	Md	0,377	[kNm]	Md	0,103	[kNm]
Verifica	VERIFICATA		Verifica	VERIFICATA		Verifica	VERIFICATA	

VERIFICA MOMENTO FLETTENTE FIANCO - TRAVE 5								
Classe di Carico Istantanea			Classe di Carico Breve			Classe di Carico Permanente		
n culmi	1	[/]	n culmi	1	[/]	n culmi	1	[/]
D culmi	150	[mm]	D culmi	150	[mm]	D culmi	150	[mm]
s culmi	15	[mm]	s culmi	15	[mm]	s culmi	15	[mm]
fm	33,9405	[Mpa]	fm	25,9545	[Mpa]	fm	21,9615	[Mpa]
Si	1,95623E-07	[mm^4]	Si	1,95623E-07	[mm^4]	Si	1,95623E-07	[mm^4]
Mi	6,640	[kNm]	Mi	5,077	[kNm]	Mi	4,296	[kNm]
Mr	6,640	[kNm]	Mr	5,077	[kNm]	Mr	4,296	[kNm]
Md	1,160	[kNm]	Md	0,341	[kNm]	Md	0,097	[kNm]
Verifica	VERIFICATA		Verifica	VERIFICATA		Verifica	VERIFICATA	

VERIFICA MOMENTO FLETTENTE FIANCO - TRAVE 6								
Classe di Carico Istantanea			Classe di Carico Breve			Classe di Carico Permanente		
n culmi	1	[/]	n culmi	1	[/]	n culmi	1	[/]
D culmi	150	[mm]	D culmi	150	[mm]	D culmi	150	[mm]
s culmi	15	[mm]	s culmi	15	[mm]	s culmi	15	[mm]
fm	33,9405	[Mpa]	fm	25,9545	[Mpa]	fm	21,9615	[Mpa]
Si	1,95623E-07	[mm^4]	Si	1,95623E-07	[mm^4]	Si	1,95623E-07	[mm^4]
Mi	6,640	[kNm]	Mi	5,077	[kNm]	Mi	4,296	[kNm]
Mr	6,640	[kNm]	Mr	5,077	[kNm]	Mr	4,296	[kNm]
Md	1,600	[kNm]	Md	0,275	[kNm]	Md	0,020	[kNm]
Verifica	VERIFICATA		Verifica	VERIFICATA		Verifica	VERIFICATA	

VERIFICA MOMENTO FLETTENTE FIANCO - TRAVE 7								
Classe di Carico Istantanea			Classe di Carico Breve			Classe di Carico Permanente		
n culmi	1	[/]	n culmi	1	[/]	n culmi	1	[/]
D culmi	150	[mm]	D culmi	150	[mm]	D culmi	150	[mm]
s culmi	15	[mm]	s culmi	15	[mm]	s culmi	15	[mm]
fm	33,9405	[Mpa]	fm	25,9545	[Mpa]	fm	21,9615	[Mpa]
Si	1,95623E-07	[mm^4]	Si	1,95623E-07	[mm^4]	Si	1,95623E-07	[mm^4]
Mi	6,640	[kNm]	Mi	5,077	[kNm]	Mi	4,296	[kNm]
Mr	6,640	[kNm]	Mr	5,077	[kNm]	Mr	4,296	[kNm]
Md	3,050	[kNm]	Md	0,923	[kNm]	Md	0,136	[kNm]
Verifica	VERIFICATA		Verifica	VERIFICATA		Verifica	VERIFICATA	

VERIFICA MOMENTO FLETTENTE FIANCO - TRAVE 8								
Classe di Carico Istantanea			Classe di Carico Breve			Classe di Carico Permanente		
n culmi	1	[/]	n culmi	1	[/]	n culmi	1	[/]
D culmi	150	[mm]	D culmi	150	[mm]	D culmi	150	[mm]
s culmi	15	[mm]	s culmi	15	[mm]	s culmi	15	[mm]
fm	33,9405	[Mpa]	fm	25,9545	[Mpa]	fm	21,9615	[Mpa]
Si	1,95623E-07	[mm^4]	Si	1,95623E-07	[mm^4]	Si	1,95623E-07	[mm^4]
Mi	6,640	[kNm]	Mi	5,077	[kNm]	Mi	4,296	[kNm]
Mr	6,640	[kNm]	Mr	5,077	[kNm]	Mr	4,296	[kNm]
Md	2,320	[kNm]	Md	0,565	[kNm]	Md	0,062	[kNm]
Verifica	VERIFICATA		Verifica	VERIFICATA		Verifica	VERIFICATA	

VERIFICA MOMENTO FLETTENTE FIANCO - TRAVE 9								
Classe di Carico Istantanea			Classe di Carico Breve			Classe di Carico Permanente		
n culmi	1	[/]	n culmi	1	[/]	n culmi	1	[/]
D culmi	150	[mm]	D culmi	150	[mm]	D culmi	150	[mm]
s culmi	15	[mm]	s culmi	15	[mm]	s culmi	15	[mm]
fm	33,9405	[Mpa]	fm	25,9545	[Mpa]	fm	21,9615	[Mpa]
Si	1,95623E-07	[mm^4]	Si	1,95623E-07	[mm^4]	Si	1,95623E-07	[mm^4]
Mi	6,640	[kNm]	Mi	5,077	[kNm]	Mi	4,296	[kNm]
Mr	6,640	[kNm]	Mr	5,077	[kNm]	Mr	4,296	[kNm]
Md	1,453	[kNm]	Md	0,472	[kNm]	Md	0,062	[kNm]
Verifica	VERIFICATA		Verifica	VERIFICATA		Verifica	VERIFICATA	

Utilizzando la Guadua, per superare la verifica a flessione basterà l'utilizzo di un solo culmo per le travi principali della foglia numero 1.

Le verifiche a flessione sono superate anche nel caso di tutti gli altri elementi trave, con un singolo culmo per elemento.

5.2.2. Verifiche a Taglio

La formula di riferimento per questa verifica è la seguente:

$$V_r \geq V_d$$

Gli elementi più sollecitati a taglio sono i pilastri della foglia numero 3. Questa situazione era abbastanza pronosticabile date le dimensioni maggiori dell'elemento in questione, che risulta maggiormente sollecitato dall'azione del vento. Di seguito le relative verifiche:

VERIFICA TAGLIO - PILASTRO 13								
Classe di Carico Istantanea			Classe di Carico Breve			Classe di Carico Permanente		
n culmi	2,000	[/]	n culmi	2,000	[/]	n culmi	2,000	[/]
D culmi	150,000	[mm]	D culmi	150,000	[mm]	D culmi	150,000	[mm]
s culmi	15,000	[mm]	s culmi	15,000	[mm]	s culmi	15,000	[mm]
fv	1,978	[Mpa]	fv	1,512	[Mpa]	fv	1,280	[Mpa]
molt	3206,935	[mm^4]	molt	3206,935	[mm^4]	molt	3206,935	[mm^4]
Vi	6,342	[kNm]	Vi	4,850	[kNm]	Vi	4,104	[kNm]
Vr	12,684	[kNm]	Vr	9,699	[kNm]	Vr	8,207	[kNm]
Vd	9,570	[kNm]	Vd	0,138	[kNm]	Vd	0,137	[kNm]
Verifica	VERIFICATA		Verifica	VERIFICATA		Verifica	VERIFICATA	

VERIFICA TAGLIO - PILASTRO 14								
Classe di Carico Istantanea			Classe di Carico Breve			Classe di Carico Permanente		
n culmi	2,000	[/]	n culmi	2,000	[/]	n culmi	2,000	[/]
D culmi	150,000	[mm]	D culmi	150,000	[mm]	D culmi	150,000	[mm]
s culmi	15,000	[mm]	s culmi	15,000	[mm]	s culmi	15,000	[mm]
fv	1,978	[Mpa]	fv	1,512	[Mpa]	fv	1,280	[Mpa]
molt	3206,935	[mm^4]	molt	3206,935	[mm^4]	molt	3206,935	[mm^4]
Vi	6,342	[kNm]	Vi	4,850	[kNm]	Vi	4,104	[kNm]
Vr	12,684	[kNm]	Vr	9,699	[kNm]	Vr	8,207	[kNm]
Vd	9,180	[kNm]	Vd	0,100	[kNm]	Vd	0,108	[kNm]
Verifica	VERIFICATA		Verifica	VERIFICATA		Verifica	VERIFICATA	

VERIFICA TAGLIO - PILASTRO 15								
Classe di Carico Istantanea			Classe di Carico Breve			Classe di Carico Permanente		
n culmi	2,000	[/]	n culmi	2,000	[/]	n culmi	2,000	[/]
D culmi	150,000	[mm]	D culmi	150,000	[mm]	D culmi	150,000	[mm]
s culmi	15,000	[mm]	s culmi	15,000	[mm]	s culmi	15,000	[mm]
fv	1,978	[Mpa]	fv	1,512	[Mpa]	fv	1,280	[Mpa]
molt	3206,935	[mm^4]	molt	3206,935	[mm^4]	molt	3206,935	[mm^4]
Vi	6,342	[kNm]	Vi	4,850	[kNm]	Vi	4,104	[kNm]
Vr	12,684	[kNm]	Vr	9,699	[kNm]	Vr	8,207	[kNm]
Vd	9,480	[kNm]	Vd	0,266	[kNm]	Vd	0,077	[kNm]
Verifica	VERIFICATA		Verifica	VERIFICATA		Verifica	VERIFICATA	

VERIFICA TAGLIO - PILASTRO 16								
Classe di Carico Istantanea			Classe di Carico Breve			Classe di Carico Permanente		
n culmi	2,000	[/]	n culmi	2,000	[/]	n culmi	2,000	[/]
D culmi	150,000	[mm]	D culmi	150,000	[mm]	D culmi	150,000	[mm]
s culmi	15,000	[mm]	s culmi	15,000	[mm]	s culmi	15,000	[mm]
fv	1,978	[Mpa]	fv	1,512	[Mpa]	fv	1,280	[Mpa]
molt	3206,935	[mm^4]	molt	3206,935	[mm^4]	molt	3206,935	[mm^4]
Vi	6,342	[kNm]	Vi	4,850	[kNm]	Vi	4,104	[kNm]
Vr	12,684	[kNm]	Vr	9,699	[kNm]	Vr	8,207	[kNm]
Vd	9,800	[kNm]	Vd	0,289	[kNm]	Vd	0,013	[kNm]
Verifica	VERIFICATA		Verifica	VERIFICATA		Verifica	VERIFICATA	

VERIFICA TAGLIO - PILASTRO 17								
Classe di Carico Istantanea			Classe di Carico Breve			Classe di Carico Permanente		
n culmi	2,000	[/]	n culmi	2,000	[/]	n culmi	2,000	[/]
D culmi	150,000	[mm]	D culmi	150,000	[mm]	D culmi	150,000	[mm]
s culmi	15,000	[mm]	s culmi	15,000	[mm]	s culmi	15,000	[mm]
fv	1,978	[Mpa]	fv	1,512	[Mpa]	fv	1,280	[Mpa]
molt	3206,935	[mm^4]	molt	3206,935	[mm^4]	molt	3206,935	[mm^4]
Vi	6,342	[kNm]	Vi	4,850	[kNm]	Vi	4,104	[kNm]
Vr	12,684	[kNm]	Vr	9,699	[kNm]	Vr	8,207	[kNm]
Vd	7,130	[kNm]	Vd	0,517	[kNm]	Vd	0,310	[kNm]
Verifica	VERIFICATA		Verifica	VERIFICATA		Verifica	VERIFICATA	

In questo caso risultano necessari 2 culmi di Guadua per resistere alle sollecitazioni da taglio. Di seguito un elenco del numero di culmi necessario per quanto riguarda i restanti elementi strutturali:

- Pilastri Foglie #1 #2 → 2 culmi necessari;
- Travi Principali → 1 culmo necessario;
- Travi Secondarie → 1 culmo necessario.

Anche in questo caso il numero di culmi necessario è molto minore, situazione vantaggiosa per quanto riguarderà la progettazione delle connessioni.

5.2.3. Verifica a Sforzo Normale

I pilastri vengono verificati a sforzo normale seguendo la formula:

$$N_{cr} \geq N_{cd}$$

Di seguito i risultati relativi alla prima pilastrata:

VERIFICA A SFORZO NORMALE PILASTRO 1

Classe di Carico Istantanea			Classe di Carico Breve			Classe di Carico Permanente		
n culmi	2,000	[/]	n culmi	2,000	[/]	n culmi	2,000	[/]
D culmi	150,000	[mm]	D culmi	150,000	[mm]	D culmi	150,000	[mm]
s culmi	15,000	[mm]	s culmi	15,000	[mm]	s culmi	15,000	[mm]
fc	29,798	[Mpa]	fc	22,787	[Mpa]	fc	19,281	[Mpa]
Ai	6361,725	[mm^4]	Ai	6361,725	[mm^4]	Ai	6361,725	[mm^4]
ΣAi	12723,450	[mm^4]	ΣAi	12723,450	[mm^4]	ΣAi	12723,450	[mm^4]
Pc	379,139	[kNm]	Pc	289,930	[kNm]	Pc	245,325	[kNm]
Ed	13260,000	[MPa]	Ed	12600,000	[MPa]	Ed	5970,000	[MPa]
Imin	1,47E+07	[mm^4]	Imin	1,47E+07	[mm^4]	Imin	1,47E+07	[mm^4]
bmax	5,000	[mm]	bmax	5,000	[mm]	bmax	5,000	[mm]
L	2350,000	[mm]	L	2350,000	[mm]	L	2350,000	[mm]
b0	0,002	[mm]	b0	0,002	[mm]	b0	0,002	[mm]
Cbow	0,894	[/]	Cbow	0,894	[/]	Cbow	0,894	[/]
K	2,100	[/]	K	2,100	[/]	K	2,100	[/]
Pe	140,907	[kN/m]	Pe	133,893	[kN/m]	Pe	63,440	[kN/m]
c	0,800	[/]	c	0,800	[/]	c	0,800	[/]
Ncr	127,888	[kN/m]	Ncr	117,778	[kN/m]	Ncr	59,613	[kN/m]
Ncd	4,100	[kN/m]	Ncd	2,490	[kN/m]	Ncd	0,000	[kN/m]
Verifica	VERIFICATA		Verifica	VERIFICATA		Verifica	VERIFICATA	

VERIFICA A SFORZO NORMALE PILASTRO 2

Classe di Carico Istantanea			Classe di Carico Breve			Classe di Carico Permanente		
n culmi	2,000	[/]	n culmi	2,000	[/]	n culmi	2,000	[/]
D culmi	150,000	[mm]	D culmi	150,000	[mm]	D culmi	150,000	[mm]
s culmi	15,000	[mm]	s culmi	15,000	[mm]	s culmi	15,000	[mm]
fc	29,798	[Mpa]	fc	22,787	[Mpa]	fc	19,281	[Mpa]
Ai	6361,725	[mm^4]	Ai	6361,725	[mm^4]	Ai	6361,725	[mm^4]
ΣAi	12723,450	[mm^4]	ΣAi	12723,450	[mm^4]	ΣAi	12723,450	[mm^4]
Pc	379,139	[kNm]	Pc	289,930	[kNm]	Pc	245,325	[kNm]
Ed	13260,000	[MPa]	Ed	12600,000	[MPa]	Ed	5970,000	[MPa]
Imin	1,47E+07	[mm^4]	Imin	1,47E+07	[mm^4]	Imin	1,47E+07	[mm^4]
bmax	5,000	[mm]	bmax	5,000	[mm]	bmax	5,000	[mm]
L	2660,000	[mm]	L	2660,000	[mm]	L	2660,000	[mm]
b0	0,002	[mm]	b0	0,002	[mm]	b0	0,002	[mm]
Cbow	0,906	[/]	Cbow	0,906	[/]	Cbow	0,906	[/]
K	2,100	[/]	K	2,100	[/]	K	2,100	[/]
Pe	111,503	[kN/m]	Pe	105,953	[kN/m]	Pe	50,202	[kN/m]
c	0,800	[/]	c	0,800	[/]	c	0,800	[/]
Ncr	103,696	[kN/m]	Ncr	96,360	[kN/m]	Ncr	47,880	[kN/m]
Ncd	10,210	[kN/m]	Ncd	1,190	[kN/m]	Ncd	0,852	[kN/m]
Verifica	VERIFICATA		Verifica	VERIFICATA		Verifica	VERIFICATA	

VERIFICA A SFORZO NORMALE PILASTRO 3

Classe di Carico Istantanea			Classe di Carico Breve			Classe di Carico Permanente		
n culmi	2,000	[/]	n culmi	2,000	[/]	n culmi	2,000	[/]
D culmi	150,000	[mm]	D culmi	150,000	[mm]	D culmi	150,000	[mm]
s culmi	15,000	[mm]	s culmi	15,000	[mm]	s culmi	15,000	[mm]
fc	29,798	[Mpa]	fc	22,787	[Mpa]	fc	19,281	[Mpa]
Ai	6361,725	[mm^4]	Ai	6361,725	[mm^4]	Ai	6361,725	[mm^4]
ΣAi	12723,450	[mm^4]	ΣAi	12723,450	[mm^4]	ΣAi	12723,450	[mm^4]
Pc	379,139	[kNm]	Pc	289,930	[kNm]	Pc	245,325	[kNm]
Ed	13260,000	[MPa]	Ed	12600,000	[MPa]	Ed	5970,000	[MPa]
Imin	1,47E+07	[mm^4]	Imin	1,47E+07	[mm^4]	Imin	1,47E+07	[mm^4]
bmax	5,000	[mm]	bmax	5,000	[mm]	bmax	5,000	[mm]
L	2970,000	[mm]	L	2970,000	[mm]	L	2970,000	[mm]
b0	0,002	[mm]	b0	0,002	[mm]	b0	0,002	[mm]
Cbow	0,916	[/]	Cbow	0,916	[/]	Cbow	0,916	[/]
K	2,100	[/]	K	2,100	[/]	K	2,100	[/]
Pe	90,410	[kN/m]	Pe	85,910	[kN/m]	Pe	40,705	[kN/m]
c	0,800	[/]	c	0,800	[/]	c	0,800	[/]
Ncr	85,439	[kN/m]	Ncr	79,841	[kN/m]	Ncr	39,213	[kN/m]
Ncd	8,500	[kN/m]	Ncd	0,000	[kN/m]	Ncd	0,364	[kN/m]
Verifica	VERIFICATA		Verifica	VERIFICATA		Verifica	VERIFICATA	

VERIFICA A SFORZO NORMALE PILASTRO 4

Classe di Carico Istantanea			Classe di Carico Breve			Classe di Carico Permanente		
n culmi	2,000	[/]	n culmi	2,000	[/]	n culmi	2,000	[/]
D culmi	150,000	[mm]	D culmi	150,000	[mm]	D culmi	150,000	[mm]
s culmi	15,000	[mm]	s culmi	15,000	[mm]	s culmi	15,000	[mm]
fc	29,798	[Mpa]	fc	22,787	[Mpa]	fc	19,281	[Mpa]
Ai	6361,725	[mm^4]	Ai	6361,725	[mm^4]	Ai	6361,725	[mm^4]
ΣAi	12723,450	[mm^4]	ΣAi	12723,450	[mm^4]	ΣAi	12723,450	[mm^4]
Pc	379,139	[kNm]	Pc	289,930	[kNm]	Pc	245,325	[kNm]
Ed	13260,000	[MPa]	Ed	12600,000	[MPa]	Ed	5970,000	[MPa]
Imin	1,47E+07	[mm^4]	Imin	1,47E+07	[mm^4]	Imin	1,47E+07	[mm^4]
bmax	5,000	[mm]	bmax	5,000	[mm]	bmax	5,000	[mm]
L	3270,000	[mm]	L	3270,000	[mm]	L	3270,000	[mm]
b0	0,002	[mm]	b0	0,002	[mm]	b0	0,002	[mm]
Cbow	0,924	[/]	Cbow	0,924	[/]	Cbow	0,924	[/]
K	2,100	[/]	K	2,100	[/]	K	2,100	[/]
Pe	75,211	[kN/m]	Pe	71,467	[kN/m]	Pe	33,862	[kN/m]
c	0,800	[/]	c	0,800	[/]	c	0,800	[/]
Ncr	71,851	[kN/m]	Ncr	67,386	[kN/m]	Ncr	32,846	[kN/m]
Ncd	4,080	[kN/m]	Ncd	0,797	[kN/m]	Ncd	0,560	[kN/m]
Verifica	VERIFICATA		Verifica	VERIFICATA		Verifica	VERIFICATA	

VERIFICA A SFORZO NORMALE PILASTRO 5

Classe di Carico Istantanea			Classe di Carico Breve			Classe di Carico Permanente		
n culmi	2,000	[/]	n culmi	2,000	[/]	n culmi	2,000	[/]
D culmi	150,000	[mm]	D culmi	150,000	[mm]	D culmi	150,000	[mm]
s culmi	15,000	[mm]	s culmi	15,000	[mm]	s culmi	15,000	[mm]
fc	29,798	[Mpa]	fc	22,787	[Mpa]	fc	19,281	[Mpa]
Ai	6361,725	[mm^4]	Ai	6361,725	[mm^4]	Ai	6361,725	[mm^4]
ΣAi	12723,450	[mm^4]	ΣAi	12723,450	[mm^4]	ΣAi	12723,450	[mm^4]
Pc	379,139	[kNm]	Pc	289,930	[kNm]	Pc	245,325	[kNm]
Ed	13260,000	[MPa]	Ed	12600,000	[MPa]	Ed	5970,000	[MPa]
Imin	1,47E+07	[mm^4]	Imin	1,47E+07	[mm^4]	Imin	1,47E+07	[mm^4]
bmax	5,000	[mm]	bmax	5,000	[mm]	bmax	5,000	[mm]
L	3570,000	[mm]	L	3570,000	[mm]	L	3570,000	[mm]
b0	0,001	[mm]	b0	0,001	[mm]	b0	0,001	[mm]
Cbow	0,930	[/]	Cbow	0,930	[/]	Cbow	0,930	[/]
K	2,100	[/]	K	2,100	[/]	K	2,100	[/]
Pe	63,540	[kN/m]	Pe	60,378	[kN/m]	Pe	28,608	[kN/m]
c	0,800	[/]	c	0,800	[/]	c	0,800	[/]
Ncr	61,185	[kN/m]	Ncr	57,529	[kN/m]	Ncr	27,892	[kN/m]
Ncd	4,520	[kN/m]	Ncd	2,440	[kN/m]	Ncd	0,000	[kN/m]
Verifica	VERIFICATA		Verifica	VERIFICATA		Verifica	VERIFICATA	

VERIFICA A SFORZO NORMALE PILASTRO 6

Classe di Carico Istantanea			Classe di Carico Breve			Classe di Carico Permanente		
n culmi	2,000	[/]	n culmi	2,000	[/]	n culmi	2,000	[/]
D culmi	150,000	[mm]	D culmi	150,000	[mm]	D culmi	150,000	[mm]
s culmi	15,000	[mm]	s culmi	15,000	[mm]	s culmi	15,000	[mm]
fc	29,798	[Mpa]	fc	22,787	[Mpa]	fc	19,281	[Mpa]
Ai	6361,725	[mm^4]	Ai	6361,725	[mm^4]	Ai	6361,725	[mm^4]
ΣAi	12723,450	[mm^4]	ΣAi	12723,450	[mm^4]	ΣAi	12723,450	[mm^4]
Pc	379,139	[kNm]	Pc	289,930	[kNm]	Pc	245,325	[kNm]
Ed	13260,000	[MPa]	Ed	12600,000	[MPa]	Ed	5970,000	[MPa]
Imin	1,47E+07	[mm^4]	Imin	1,47E+07	[mm^4]	Imin	1,47E+07	[mm^4]
bmax	5,000	[mm]	bmax	5,000	[mm]	bmax	5,000	[mm]
L	4040,000	[mm]	L	4040,000	[mm]	L	4040,000	[mm]
b0	0,001	[mm]	b0	0,001	[mm]	b0	0,001	[mm]
Cbow	0,938	[/]	Cbow	0,938	[/]	Cbow	0,938	[/]
K	2,100	[/]	K	2,100	[/]	K	2,100	[/]
Pe	50,051	[kN/m]	Pe	47,560	[kN/m]	Pe	22,534	[kN/m]
c	0,800	[/]	c	0,800	[/]	c	0,800	[/]
Ncr	48,620	[kN/m]	Ncr	45,838	[kN/m]	Ncr	22,097	[kN/m]
Ncd	7,160	[kN/m]	Ncd	0,000	[kN/m]	Ncd	0,543	[kN/m]
Verifica	VERIFICATA		Verifica	VERIFICATA		Verifica	VERIFICATA	

VERIFICA A SFORZO NORMALE PILASTRO 7								
Classe di Carico Istantanea			Classe di Carico Breve			Classe di Carico Permanente		
n culmi	2,000	[/]	n culmi	2,000	[/]	n culmi	2,000	[/]
D culmi	150,000	[mm]	D culmi	150,000	[mm]	D culmi	150,000	[mm]
s culmi	15,000	[mm]	s culmi	15,000	[mm]	s culmi	15,000	[mm]
fc	29,798	[Mpa]	fc	22,787	[Mpa]	fc	19,281	[Mpa]
Ai	6361,725	[mm^4]	Ai	6361,725	[mm^4]	Ai	6361,725	[mm^4]
ΣAi	12723,450	[mm^4]	ΣAi	12723,450	[mm^4]	ΣAi	12723,450	[mm^4]
Pc	379,139	[kNm]	Pc	289,930	[kNm]	Pc	245,325	[kNm]
Ed	13260,000	[MPa]	Ed	12600,000	[MPa]	Ed	5970,000	[MPa]
Imin	1,47E+07	[mm^4]	Imin	1,47E+07	[mm^4]	Imin	1,47E+07	[mm^4]
bmax	5,000	[mm]	bmax	5,000	[mm]	bmax	5,000	[mm]
L	4540,000	[mm]	L	4540,000	[mm]	L	4540,000	[mm]
b0	0,001	[mm]	b0	0,001	[mm]	b0	0,001	[mm]
Cbow	0,945	[/]	Cbow	0,945	[/]	Cbow	0,945	[/]
K	2,100	[/]	K	2,100	[/]	K	2,100	[/]
Pe	39,921	[kN/m]	Pe	37,934	[kN/m]	Pe	17,974	[kN/m]
c	0,800	[/]	c	0,800	[/]	c	0,800	[/]
Ncr	39,026	[kN/m]	Ncr	36,861	[kN/m]	Ncr	17,698	[kN/m]
Ncd	21,200	[kN/m]	Ncd	8,030	[kN/m]	Ncd	1,700	[kN/m]
Verifica	VERIFICATA		Verifica	VERIFICATA		Verifica	VERIFICATA	

In questo caso, i due culmi preventivati a taglio sono sufficienti a sostenere lo sforzo normale sollecitante. Le verifiche sono tutte superate anche per le pilastrate delle restanti due foglie.

5.2.4. Verifica a Pressoflessione

Per la verifica a pressoflessione la sollecitazione combinata di sforzo normale di compressione massima e momento flettente massimo deve rientrare nel dominio definito dalla seguente formula:

$$\frac{N_{cd}}{N_{cr}} + B * \frac{M_d}{M_r} \leq 1$$

Di seguito i risultati per gli elementi più sollecitati, i pilastri della foglia #3.

VERIFICA A PRESSOFLESSIONE PILASTRO 13								
Classe di Carico Istantanea			Classe di Carico Breve			Classe di Carico Permanente		
n culmi	4,00	[/]	n culmi	4,00	[/]	n culmi	4,00	[/]
D culmi	150,00	[mm]	D culmi	150,00	[mm]	D culmi	150,00	[mm]
s culmi	15,00	[mm]	s culmi	15,00	[mm]	s culmi	15,00	[mm]
fc	29,80	[Mpa]	fc	22,79	[Mpa]	fc	19,28	[Mpa]
Ai	6361,73	[mm^4]	Ai	6361,73	[mm^4]	Ai	6361,73	[mm^4]
ΣAi	25446,90	[mm^4]	ΣAi	25446,90	[mm^4]	ΣAi	25446,90	[mm^4]
Pc	758,28	[kNm]	Pc	579,86	[kNm]	Pc	490,65	[kNm]
Ed	13260,00	[MPa]	Ed	12600,00	[MPa]	Ed	5970,00	[MPa]
Imin	1,47E+07	[mm^4]	Imin	1,47E+07	[mm^4]	Imin	1,47E+07	[mm^4]
bmax	5,00	[mm]	bmax	5,00	[mm]	bmax	5,00	[mm]
L	2350,00	[mm]	L	2350,00	[mm]	L	2350,00	[mm]
b0	0,00	[mm]	b0	0,00	[mm]	b0	0,00	[mm]
Cbow	0,89	[/]	Cbow	0,89	[/]	Cbow	0,89	[/]
K	2,10	[/]	K	2,10	[/]	K	2,10	[/]
Pe	281,81	[kN/m]	Pe	267,79	[kN/m]	Pe	126,88	[kN/m]
c	0,80	[/]	c	0,80	[/]	c	0,80	[/]
Ncr	255,78	[kN/m]	Ncr	235,56	[kN/m]	Ncr	119,23	[kN/m]
Ncd	5,48	[kN/m]	Ncd	4,14	[kN/m]	Ncd	0,00	[kN/m]
fm	33,94	[Mpa]	fm	25,95	[Mpa]	fm	21,96	[Mpa]
Si	0,00	[mm^4]	Si	0,00	[mm^4]	Si	0,00	[mm^4]
Mi	6,64	[kNm]	Mi	5,08	[kNm]	Mi	4,30	[kNm]
Mr	26,56	[kNm]	Mr	20,31	[kNm]	Mr	17,18	[kNm]
Md	25,07	[kNm]	Md	2,36	[kNm]	Md	0,54	[kNm]
B	1,02	[/]	B	1,02	[/]	B	1,00	[/]
Pressoflex	0,98	[/]	Pressoflex	0,14	[/]	Pressoflex	0,03	[/]
Verifica	VERIFICATA		Verifica	VERIFICATA		Verifica	VERIFICATA	

VERIFICA A PRESSOFLESSIONE PILASTRO 14

Classe di Carico Istantanea			Classe di Carico Breve			Classe di Carico Permanente		
n culmi	4,00	[/]	n culmi	4,00	[/]	n culmi	4,00	[/]
D culmi	150,00	[mm]	D culmi	150,00	[mm]	D culmi	150,00	[mm]
s culmi	15,00	[mm]	s culmi	15,00	[mm]	s culmi	15,00	[mm]
fc	29,80	[Mpa]	fc	22,79	[Mpa]	fc	19,28	[Mpa]
Ai	6361,73	[mm ⁴]	Ai	6361,73	[mm ⁴]	Ai	6361,73	[mm ⁴]
ΣAi	25446,90	[mm ⁴]	ΣAi	25446,90	[mm ⁴]	ΣAi	25446,90	[mm ⁴]
Pc	758,28	[kNm]	Pc	579,86	[kNm]	Pc	490,65	[kNm]
Ed	13260,00	[MPa]	Ed	12600,00	[MPa]	Ed	5970,00	[MPa]
Imin	1,47E+07	[mm ⁴]	Imin	1,47E+07	[mm ⁴]	Imin	1,47E+07	[mm ⁴]
bmax	5,00	[mm]	bmax	5,00	[mm]	bmax	5,00	[mm]
L	2660,00	[mm]	L	2660,00	[mm]	L	2660,00	[mm]
b0	0,00	[mm]	b0	0,00	[mm]	b0	0,00	[mm]
Cbow	0,91	[/]	Cbow	0,91	[/]	Cbow	0,91	[/]
K	2,10	[/]	K	2,10	[/]	K	2,10	[/]
Pe	223,01	[kN/m]	Pe	211,91	[kN/m]	Pe	100,40	[kN/m]
c	0,80	[/]	c	0,80	[/]	c	0,80	[/]
Ncr	207,39	[kN/m]	Ncr	192,72	[kN/m]	Ncr	95,76	[kN/m]
Ncd	2,26	[kN/m]	Ncd	1,66	[kN/m]	Ncd	0,00	[kN/m]
fm	33,94	[Mpa]	fm	25,95	[Mpa]	fm	21,96	[Mpa]
Si	0,00	[mm ⁴]	Si	0,00	[mm ⁴]	Si	0,00	[mm ⁴]
Mi	6,64	[kNm]	Mi	5,08	[kNm]	Mi	4,30	[kNm]
Mr	26,56	[kNm]	Mr	20,31	[kNm]	Mr	17,18	[kNm]
Md	25,26	[kNm]	Md	2,27	[kNm]	Md	0,47	[kNm]
B	1,01	[/]	B	1,01	[/]	B	1,00	[/]
Pressoflex	0,97	[/]	Pressoflex	0,12	[/]	Pressoflex	0,03	[/]
Verifica	VERIFICATA		Verifica	VERIFICATA		Verifica	VERIFICATA	

VERIFICA A PRESSOFLESSIONE PILASTRO 15

Classe di Carico Istantanea			Classe di Carico Breve			Classe di Carico Permanente		
n culmi	4,00	[/]	n culmi	4,00	[/]	n culmi	4,00	[/]
D culmi	150,00	[mm]	D culmi	150,00	[mm]	D culmi	150,00	[mm]
s culmi	15,00	[mm]	s culmi	15,00	[mm]	s culmi	15,00	[mm]
fc	29,80	[Mpa]	fc	22,79	[Mpa]	fc	19,28	[Mpa]
Ai	6361,73	[mm ⁴]	Ai	6361,73	[mm ⁴]	Ai	6361,73	[mm ⁴]
ΣAi	25446,90	[mm ⁴]	ΣAi	25446,90	[mm ⁴]	ΣAi	25446,90	[mm ⁴]
Pc	758,28	[kNm]	Pc	579,86	[kNm]	Pc	490,65	[kNm]
Ed	13260,00	[MPa]	Ed	12600,00	[MPa]	Ed	5970,00	[MPa]
Imin	1,47E+07	[mm ⁴]	Imin	1,47E+07	[mm ⁴]	Imin	1,47E+07	[mm ⁴]
bmax	5,00	[mm]	bmax	5,00	[mm]	bmax	5,00	[mm]
L	2970,00	[mm]	L	2970,00	[mm]	L	2970,00	[mm]
b0	0,00	[mm]	b0	0,00	[mm]	b0	0,00	[mm]
Cbow	0,92	[/]	Cbow	0,92	[/]	Cbow	0,92	[/]
K	2,10	[/]	K	2,10	[/]	K	2,10	[/]
Pe	180,82	[kN/m]	Pe	171,82	[kN/m]	Pe	81,41	[kN/m]
c	0,80	[/]	c	0,80	[/]	c	0,80	[/]
Ncr	170,88	[kN/m]	Ncr	159,68	[kN/m]	Ncr	78,43	[kN/m]
Ncd	5,42	[kN/m]	Ncd	1,71	[kN/m]	Ncd	0,28	[kN/m]
fm	33,94	[Mpa]	fm	25,95	[Mpa]	fm	21,96	[Mpa]
Si	0,00	[mm ⁴]	Si	0,00	[mm ⁴]	Si	0,00	[mm ⁴]
Mi	6,64	[kNm]	Mi	5,08	[kNm]	Mi	4,30	[kNm]
Mr	26,56	[kNm]	Mr	20,31	[kNm]	Mr	17,18	[kNm]
Md	24,23	[kNm]	Md	2,62	[kNm]	Md	0,41	[kNm]
B	1,03	[/]	B	1,01	[/]	B	1,00	[/]
Pressoflex	0,97	[/]	Pressoflex	0,14	[/]	Pressoflex	0,03	[/]
Verifica	VERIFICATA		Verifica	VERIFICATA		Verifica	VERIFICATA	

VERIFICA A PRESSOFLESSIONE PILASTRO 16

Classe di Carico Istantanea			Classe di Carico Breve			Classe di Carico Permanente		
n culmi	4,00	[/]	n culmi	4,00	[/]	n culmi	4,00	[/]
D culmi	150,00	[mm]	D culmi	150,00	[mm]	D culmi	150,00	[mm]
s culmi	15,00	[mm]	s culmi	15,00	[mm]	s culmi	15,00	[mm]
fc	29,80	[Mpa]	fc	22,79	[Mpa]	fc	19,28	[Mpa]
Ai	6361,73	[mm ⁴]	Ai	6361,73	[mm ⁴]	Ai	6361,73	[mm ⁴]
ΣAi	25446,90	[mm ⁴]	ΣAi	25446,90	[mm ⁴]	ΣAi	25446,90	[mm ⁴]
Pc	758,28	[kNm]	Pc	579,86	[kNm]	Pc	490,65	[kNm]
Ed	13260,00	[MPa]	Ed	12600,00	[MPa]	Ed	5970,00	[MPa]
Imin	1,47E+07	[mm ⁴]	Imin	1,47E+07	[mm ⁴]	Imin	1,47E+07	[mm ⁴]
bmax	5,00	[mm]	bmax	5,00	[mm]	bmax	5,00	[mm]
L	3270,00	[mm]	L	3270,00	[mm]	L	3270,00	[mm]
b0	0,00	[mm]	b0	0,00	[mm]	b0	0,00	[mm]
Cbow	0,92	[/]	Cbow	0,92	[/]	Cbow	0,92	[/]
K	2,10	[/]	K	2,10	[/]	K	2,10	[/]
Pe	150,42	[kN/m]	Pe	142,93	[kN/m]	Pe	67,72	[kN/m]
c	0,80	[/]	c	0,80	[/]	c	0,80	[/]
Ncr	143,70	[kN/m]	Ncr	134,77	[kN/m]	Ncr	65,69	[kN/m]
Ncd	3,45	[kN/m]	Ncd	2,01	[kN/m]	Ncd	0,00	[kN/m]
fm	33,94	[Mpa]	fm	25,95	[Mpa]	fm	21,96	[Mpa]
Si	0,00	[mm ⁴]	Si	0,00	[mm ⁴]	Si	0,00	[mm ⁴]
Mi	6,64	[kNm]	Mi	5,08	[kNm]	Mi	4,30	[kNm]
Mr	26,56	[kNm]	Mr	20,31	[kNm]	Mr	17,18	[kNm]
Md	23,62	[kNm]	Md	2,73	[kNm]	Md	0,32	[kNm]
B	1,02	[/]	B	1,01	[/]	B	1,00	[/]
Pressoflex	0,93	[/]	Pressoflex	0,15	[/]	Pressoflex	0,02	[/]
Verifica	VERIFICATA		Verifica	VERIFICATA		Verifica	VERIFICATA	

VERIFICA A PRESSOFLESSIONE PILASTRO 17								
Classe di Carico Istantanea			Classe di Carico Breve			Classe di Carico Permanente		
n culmi	4,00	[/]	n culmi	4,00	[/]	n culmi	4,00	[/]
D culmi	150,00	[mm]	D culmi	150,00	[mm]	D culmi	150,00	[mm]
s culmi	15,00	[mm]	s culmi	15,00	[mm]	s culmi	15,00	[mm]
fc	29,80	[Mpa]	fc	22,79	[Mpa]	fc	19,28	[Mpa]
Ai	6361,73	[mm ⁴]	Ai	6361,73	[mm ⁴]	Ai	6361,73	[mm ⁴]
ΣAi	25446,90	[mm ⁴]	ΣAi	25446,90	[mm ⁴]	ΣAi	25446,90	[mm ⁴]
Pc	758,28	[kNm]	Pc	579,86	[kNm]	Pc	490,65	[kNm]
Ed	13260,00	[MPa]	Ed	12600,00	[MPa]	Ed	5970,00	[MPa]
Imin	1,47E+07	[mm ⁴]	Imin	1,47E+07	[mm ⁴]	Imin	1,47E+07	[mm ⁴]
bmax	5,00	[mm]	bmax	5,00	[mm]	bmax	5,00	[mm]
L	3570,00	[mm]	L	3570,00	[mm]	L	3570,00	[mm]
b0	0,00	[mm]	b0	0,00	[mm]	b0	0,00	[mm]
Cbow	0,93	[/]	Cbow	0,93	[/]	Cbow	0,93	[/]
K	2,10	[/]	K	2,10	[/]	K	2,10	[/]
Pe	127,08	[kN/m]	Pe	120,76	[kN/m]	Pe	57,22	[kN/m]
c	0,80	[/]	c	0,80	[/]	c	0,80	[/]
Ncr	122,37	[kN/m]	Ncr	115,06	[kN/m]	Ncr	55,78	[kN/m]
Ncd	11,29	[kN/m]	Ncd	4,96	[kN/m]	Ncd	0,97	[kN/m]
fm	33,94	[Mpa]	fm	25,95	[Mpa]	fm	21,96	[Mpa]
Si	0,00	[mm ⁴]	Si	0,00	[mm ⁴]	Si	0,00	[mm ⁴]
Mi	6,64	[kNm]	Mi	5,08	[kNm]	Mi	4,30	[kNm]
Mr	26,56	[kNm]	Mr	20,31	[kNm]	Mr	17,18	[kNm]
Md	18,44	[kNm]	Md	3,30	[kNm]	Md	0,68	[kNm]
B	1,10	[/]	B	1,04	[/]	B	1,02	[/]
Pressoflex	0,85	[/]	Pressoflex	0,21	[/]	Pressoflex	0,06	[/]
Verifica	VERIFICATA		Verifica	VERIFICATA		Verifica	VERIFICATA	

In questo caso la verifica non risulta superata impiegando solo 2 culmi per i pilastri, ma si richiede l'inserimento di almeno 4 culmi per elemento.

Per quanto riguarda le travi invece, si riporta di seguito il numero di culmi necessari per resistere a pressoflessione:

- Travi Principali → Necessitiamo di 2 culmi per elemento;
- Travi secondarie → Le verifiche sono superate con 1 solo culmo.

L'unica eccezione a queste verifiche è il pilastro numero 7, a cui non bastano 4 culmi per superare la verifica a pressoflessione. Di seguito si riporta la tabella relativa a questo elemento, che risulta essere verificato se si impiegano 6 culmi.

VERIFICA A PRESSOFLESSIONE PILASTRO 7

Classe di Carico Istantanea			Classe di Carico Breve			Classe di Carico Permanente		
n culmi	6,00	[/]	n culmi	6,00	[/]	n culmi	6,00	[/]
D culmi	150,00	[mm]	D culmi	150,00	[mm]	D culmi	150,00	[mm]
s culmi	15,00	[mm]	s culmi	15,00	[mm]	s culmi	15,00	[mm]
fc	29,80	[Mpa]	fc	22,79	[Mpa]	fc	19,28	[Mpa]
Ai	6361,73	[mm^4]	Ai	6361,73	[mm^4]	Ai	6361,73	[mm^4]
ΣAi	38170,35	[mm^4]	ΣAi	38170,35	[mm^4]	ΣAi	38170,35	[mm^4]
Pc	1137,42	[kNm]	Pc	869,79	[kNm]	Pc	735,98	[kNm]
Ed	13260,00	[MPa]	Ed	12600,00	[MPa]	Ed	5970,00	[MPa]
Imin	1,47E+07	[mm^4]	Imin	1,47E+07	[mm^4]	Imin	1,47E+07	[mm^4]
bmax	5,00	[mm]	bmax	5,00	[mm]	bmax	5,00	[mm]
L	4540,00	[mm]	L	4540,00	[mm]	L	4540,00	[mm]
b0	0,00	[mm]	b0	0,00	[mm]	b0	0,00	[mm]
Cbow	0,94	[/]	Cbow	0,94	[/]	Cbow	0,94	[/]
K	2,10	[/]	K	2,10	[/]	K	2,10	[/]
Pe	119,76	[kN/m]	Pe	113,80	[kN/m]	Pe	53,92	[kN/m]
c	0,80	[/]	c	0,80	[/]	c	0,80	[/]
Ncr	117,08	[kN/m]	Ncr	110,58	[kN/m]	Ncr	53,10	[kN/m]
Ncd	21,20	[kN/m]	Ncd	8,03	[kN/m]	Ncd	1,70	[kN/m]
fm	33,94	[Mpa]	fm	25,95	[Mpa]	fm	21,96	[Mpa]
Si	0,00	[mm^4]	Si	0,00	[mm^4]	Si	0,00	[mm^4]
Mi	6,64	[kNm]	Mi	5,08	[kNm]	Mi	4,30	[kNm]
Mr	39,84	[kNm]	Mr	30,46	[kNm]	Mr	25,78	[kNm]
Md	17,81	[kNm]	Md	1,55	[kNm]	Md	0,24	[kNm]
B	1,22	[/]	B	1,08	[/]	B	1,03	[/]
Pressoflex	0,72	[/]	Pressoflex	0,13	[/]	Pressoflex	0,04	[/]
Verifica	VERIFICATA		Verifica	VERIFICATA		Verifica	VERIFICATA	

5.2.5. Verifica a TensoFlessione

Per quanto concerne la verifica a tensoflessione la formula di riferimento è la seguente:

$$\frac{N_{td}}{N_{tr}} + \frac{M_d}{M_r} \leq 1$$

Di seguito i risultati delle verifiche per i pilastri della foglia #3. Nuovamente la foglia più grande, la numero 3, risulta essere la più sollecitata a SLU data la superficie maggiore sollecitata dal vento.

VERIFICA A TENSOFFLESSIONE PILASTRO 13								
Classe di Carico Istantanea			Classe di Carico Breve			Classe di Carico Permanente		
n culmi	4,000	[/]	n culmi	4,000	[/]	n culmi	4,000	[/]
D culmi	150,000	[mm]	D culmi	150,000	[mm]	D culmi	150,000	[mm]
s culmi	15,000	[mm]	s culmi	15,000	[mm]	s culmi	15,000	[mm]
ft	19,696	[Mpa]	fc	15,061	[Mpa]	fc	12,744	[Mpa]
Ai	6361,725	[mm^4]	Ai	6361,725	[mm^4]	Ai	6361,725	[mm^4]
Ntr	501,196	[kN/m]	Ntr	383,268	[kN/m]	Ntr	324,304	[kN/m]
Ntd	5,000	[kN/m]	Ntd	0,000	[kN/m]	Ntd	0,670	[kN/m]
fm	33,941	[Mpa]	fm	25,955	[Mpa]	fm	21,962	[Mpa]
Si	0,000	[mm^4]	Si	0,000	[mm^4]	Si	0,000	[mm^4]
Mi	6,640	[kNm]	Mi	5,077	[kNm]	Mi	4,296	[kNm]
Mr	26,558	[kNm]	Mr	20,309	[kNm]	Mr	17,185	[kNm]
Md	25,070	[kNm]	Md	2,360	[kNm]	Md	0,535	[kNm]
Tensoflex	0,954	[/]	Tensoflex	0,116	[/]	Tensoflex	0,033	[/]
Verifica	VERIFICATA		Verifica	VERIFICATA		Verifica	VERIFICATA	

VERIFICA A TENSOFFLESSIONE PILASTRO 14								
Classe di Carico Istantanea			Classe di Carico Breve			Classe di Carico Permanente		
n culmi	4,000	[/]	n culmi	4,000	[/]	n culmi	4,000	[/]
D culmi	150,000	[mm]	D culmi	150,000	[mm]	D culmi	150,000	[mm]
s culmi	15,000	[mm]	s culmi	15,000	[mm]	s culmi	15,000	[mm]
ft	19,696	[Mpa]	fc	15,061	[Mpa]	fc	12,744	[Mpa]
Ai	6361,725	[mm^4]	Ai	6361,725	[mm^4]	Ai	6361,725	[mm^4]
Ntr	501,196	[kN/m]	Ntr	383,268	[kN/m]	Ntr	324,304	[kN/m]
Ntd	0,000	[kN/m]	Ntd	0,000	[kN/m]	Ntd	0,610	[kN/m]
fm	33,941	[Mpa]	fm	25,955	[Mpa]	fm	21,962	[Mpa]
Si	0,000	[mm^4]	Si	0,000	[mm^4]	Si	0,000	[mm^4]
Mi	6,640	[kNm]	Mi	5,077	[kNm]	Mi	4,296	[kNm]
Mr	26,558	[kNm]	Mr	20,309	[kNm]	Mr	17,185	[kNm]
Md	25,260	[kNm]	Md	2,270	[kNm]	Md	0,473	[kNm]
Tensoflex	0,951	[/]	Tensoflex	0,112	[/]	Tensoflex	0,029	[/]
Verifica	VERIFICATA		Verifica	VERIFICATA		Verifica	VERIFICATA	

VERIFICA A TENSOFFLESSIONE PILASTRO 15								
Classe di Carico Istantanea			Classe di Carico Breve			Classe di Carico Permanente		
n culmi	4,000	[/]	n culmi	4,000	[/]	n culmi	4,000	[/]
D culmi	150,000	[mm]	D culmi	150,000	[mm]	D culmi	150,000	[mm]
s culmi	15,000	[mm]	s culmi	15,000	[mm]	s culmi	15,000	[mm]
ft	19,696	[Mpa]	fc	15,061	[Mpa]	fc	12,744	[Mpa]
Ai	6361,725	[mm^4]	Ai	6361,725	[mm^4]	Ai	6361,725	[mm^4]
Ntr	501,196	[kN/m]	Ntr	383,268	[kN/m]	Ntr	324,304	[kN/m]
Ntd	2,770	[kN/m]	Ntd	0,000	[kN/m]	Ntd	0,000	[kN/m]
fm	33,941	[Mpa]	fm	25,955	[Mpa]	fm	21,962	[Mpa]
Si	0,000	[mm^4]	Si	0,000	[mm^4]	Si	0,000	[mm^4]
Mi	6,640	[kNm]	Mi	5,077	[kNm]	Mi	4,296	[kNm]
Mr	26,558	[kNm]	Mr	20,309	[kNm]	Mr	17,185	[kNm]
Md	24,230	[kNm]	Md	2,620	[kNm]	Md	0,410	[kNm]
Tensoflex	0,918	[/]	Tensoflex	0,129	[/]	Tensoflex	0,024	[/]
Verifica	VERIFICATA		Verifica	VERIFICATA		Verifica	VERIFICATA	

VERIFICA A TENSOFFLESSIONE PILASTRO 16								
Classe di Carico Istantanea			Classe di Carico Breve			Classe di Carico Permanente		
n culmi	4,000	[/]	n culmi	4,000	[/]	n culmi	4,000	[/]
D culmi	150,000	[mm]	D culmi	150,000	[mm]	D culmi	150,000	[mm]
s culmi	15,000	[mm]	s culmi	15,000	[mm]	s culmi	15,000	[mm]
ft	19,696	[Mpa]	fc	15,061	[Mpa]	fc	12,744	[Mpa]
Ai	6361,725	[mm^4]	Ai	6361,725	[mm^4]	Ai	6361,725	[mm^4]
Ntr	501,196	[kN/m]	Ntr	383,268	[kN/m]	Ntr	324,304	[kN/m]
Ntd	2,080	[kN/m]	Ntd	0,000	[kN/m]	Ntd	0,930	[kN/m]
fm	33,941	[Mpa]	fm	25,955	[Mpa]	fm	21,962	[Mpa]
Si	0,000	[mm^4]	Si	0,000	[mm^4]	Si	0,000	[mm^4]
Mi	6,640	[kNm]	Mi	5,077	[kNm]	Mi	4,296	[kNm]
Mr	26,558	[kNm]	Mr	20,309	[kNm]	Mr	17,185	[kNm]
Md	23,620	[kNm]	Md	2,730	[kNm]	Md	0,315	[kNm]
Tensoflex	0,894	[/]	Tensoflex	0,134	[/]	Tensoflex	0,021	[/]
Verifica	VERIFICATA		Verifica	VERIFICATA		Verifica	VERIFICATA	

VERIFICA A TENSOFFLESSIONE PILASTRO 17								
Classe di Carico Istantanea			Classe di Carico Breve			Classe di Carico Permanente		
n culmi	4,000	[/]	n culmi	4,000	[/]	n culmi	4,000	[/]
D culmi	150,000	[mm]	D culmi	150,000	[mm]	D culmi	150,000	[mm]
s culmi	15,000	[mm]	s culmi	15,000	[mm]	s culmi	15,000	[mm]
ft	19,696	[Mpa]	fc	15,061	[Mpa]	fc	12,744	[Mpa]
Ai	6361,725	[mm^4]	Ai	6361,725	[mm^4]	Ai	6361,725	[mm^4]
Ntr	501,196	[kN/m]	Ntr	383,268	[kN/m]	Ntr	324,304	[kN/m]
Ntd	0,560	[kN/m]	Ntd	0,000	[kN/m]	Ntd	0,000	[kN/m]
fm	33,941	[Mpa]	fm	25,955	[Mpa]	fm	21,962	[Mpa]
Si	0,000	[mm^4]	Si	0,000	[mm^4]	Si	0,000	[mm^4]
Mi	6,640	[kNm]	Mi	5,077	[kNm]	Mi	4,296	[kNm]
Mr	26,558	[kNm]	Mr	20,309	[kNm]	Mr	17,185	[kNm]
Md	18,440	[kNm]	Md	3,300	[kNm]	Md	0,684	[kNm]
Tensoflex	0,695	[/]	Tensoflex	0,162	[/]	Tensoflex	0,040	[/]
Verifica	VERIFICATA		Verifica	VERIFICATA		Verifica	VERIFICATA	

In questo caso, i culmi calcolati in precedenza risultano essere sufficienti, così come anche il numero di culmi imposti dalla verifica precedente per travi principali e secondarie.

5.2.6. Definizione Numero Culmi Definitivi

Una volta completate tutte le verifiche il modello è stato aggiornato riportando le sezioni esatte, con il numero di culmi necessario a sopportare le sollecitazioni estrapolate. Questo aggiornamento del modello va a variare di poco il peso proprio degli elementi strutturali, trattandosi di bambù, e di conseguenza le sollecitazioni subiscono una variazione molto ridotta. Per queste motivazioni non si riportano nuovamente le verifiche che rimangono soddisfatte.

Si riporta invece una tabella che ricapitola il numero di culmi necessari da calcolo strutturale agli SLU:

NUMERO CULMI - PILASTRI					
FOGLIA #1		FOGLIA #2		FOGLIA #3	
N PIL	n culmi	N PIL	n culmi	N PIL	n culmi
1	4	8	4	13	4
2	4	9	4	14	4
3	4	10	4	15	4
4	4	11	4	16	4
5	4	12	4	17	4
6	4				
7	6				

NUMERO CULMI - TRAVI					
FOGLIA #1		FOGLIA #2		FOGLIA #3	
N TRAVE	n culmi	N TRAVE	n culmi	N TRAVE	n culmi
1	2	24	2	48	2
2	2	25	2	49	2
3	2	26	2	50	2
4	2	27	2	51	2
5	2	28	2	52	2
6	2	29	2	53	2
7	2	30	1	54	1
8	2	31	1	55	1
9	2	32	1	56	1
10	1	33	1	57	1
11	1	34	1	58	1
12	1	35	1	59	1
13	1	36	1	60	1
14	1	37	1	61	1
15	1	38	1	62	1
16	1	39	1	63	1
17	1	40	1	64	1
18	1	41	1	65	1
19	1	42	1		
20	1	43	1		
21	1	44	1		
22	1	45	1		
23	1	46	1		
		47	1		

Dal calcolo sinora effettuato si nota che la verifica più stringente risulta essere quella a pressoflessione, che richiede il maggior numero di culmi. Inoltre, si evince che la foglia #3 risulta essere sempre la più sollecitata, ma l'elemento che necessita del maggior numero di culmi è il pilastro numero 7, ovvero il più alto della foglia numero 1.

La progettazione con la *Guadua Angustifolia*, dunque, restituisce un risultato soddisfacente, ed il numero di culmi in bambù per elemento sembra gestibile anche a livello di connessioni, nonostante le dimensioni maggiorate.

Una volta ottenuta la struttura definitiva a SLU sarà necessario condurre un'analisi sismica, per verificare che la struttura sia in grado di resistere alle sollecitazioni provenienti dalle scosse di terremoto. Questa problematica sarà affrontata nel capitolo successivo.

6. Analisi Sismica – Padiglione del Tè in Guadua

Per la valutazione sismica della struttura non abbiamo molti riferimenti all'interno delle norme specifiche ISO 22156 per il bambù, se non delle buone norme da seguire dedotte in maniera empirica. Di conseguenza sarà necessario riferirsi al capitolo 7 delle NTC18 per una corretta valutazione.

Nonostante l'analisi sismica della struttura resti un passaggio fondamentale della progettazione, in questo caso assume importanza minore in quanto, dato il presumibile peso ridotto degli elementi strutturali di copertura in bambù, ci si aspetta delle sollecitazioni molto più basse rispetto a quelle indotte sulla struttura dal carico da vento.

Detto questo, essendo la struttura di un solo piano e con basso livello sollecitativo previsto, il metodo di analisi che si sceglie è quello delle "forze laterali". Questo metodo prevede la semplificazione della sollecitazione dinamica da sisma in forze quasi statiche da applicare al generico piano della struttura.

Le forze avranno andamento triangolare, crescendo con la quota, e solleciteranno la struttura in maniera equivalente rispetto all'azione del terremoto, e permetteranno di effettuare le verifiche in questo campo.

6.1. Calcolo del Peso delle Coperture

Il primo importante passo per una corretta valutazione delle azioni sismiche è il calcolo del peso complessivo di ciascuna copertura. Per calcolare questa grandezza si parte dalla densità del bambù utilizzato, ovvero la Guadua Angustifolia:

$$\rho = 7,85 \text{ kN/m}^3$$

Come è facile osservare, questa grandezza fa riferimento al volume del bambù considerato. Per ottenere il peso complessivo delle aste si pensa di ricavare il peso rispetto alla lunghezza in metri del bambù. Per farlo sarà necessario moltiplicare la densità per l'area della sezione di ciascun elemento in bambù. Di seguito i risultati di questa valutazione per pilastri e travi della struttura:

CALCOLO PESO LINEARE BAMBU			
	Pilastri	Travi Principali	Travi Secondarie
P [kN/m³]	7,85	7,85	7,85
R [m]	0,075	0,075	0,075
S [m]	0,015	0,015	0,015
Area Sez [m²]	0,00636	0,00636	0,00636
P Lin [kn/m]	0,0499	0,0499	0,0499

Ovviamente il peso lineare è riferito ad un singolo culmo di bambù, pertanto, risulta identico per ciascuna tipologia di elemento. Il passo immediatamente successivo è moltiplicare il peso ottenuto per la lunghezza dei singoli elementi e, ove necessario, per il numero di culmi utilizzati.

Si ricorda che sono stati impiegati:

- 4 culmi per ogni pilastro, tranne per il pilastro 7;
- 2 culmi per le travi principali;
- 1 culmo per le travi secondarie.

L'esempio di questo calcolo si riporta di seguito, per quanto riguarda le travi principali della foglia 1.

FOGLIA #1					
		Elemento	Lunghezza [m]	Num Culmi	Lungh Complessiva
TRAVI PRINCIPALI		1	3,13	2	6,26
		2	3,28	2	6,56
		3	5,22	2	10,44
		4	3,52	2	7,04
		5	3,48	2	6,96
		6	5,4	2	10,8
		7	3,92	2	7,84
		8	3,69	2	7,38
		9	4,46	2	8,92

In ultimo si riportano i risultati della somma di tutti i pesi così ottenuti, per le tre foglie, sottolineando che il valore complessivo è abbastanza basso come da attesa:

CALCOLO PESO FOGLIE		
FOGLIA #1	7,136	[kN]
FOGLIA #2	5,266	[kN]
FOGLIA #3	6,133	[kN]

6.2. Definizione Spettri di Risposta

Un passaggio fondamentale per definire i successivi parametri di risposta della struttura risulta essere la costruzione dello spettro di risposta. Questa curva, definita da 4 tratti differenti, consente l'individuazione della massima accelerazione della struttura in base al periodo di oscillazione per ciascun modo di vibrare. La valutazione di tale spettro è effettuata rispetto a due stati limite differenti:

- SLD → *Stato Limite di Danno*. Meno gravoso, legato a tempi di ritorno dell'azione sismica più bassi;
- SLV → *Stato Limite di Salvaguardia della Vita*. Molto più gravoso, legato a tempi di ritorno dell'azione sismica molto più alti.

Nel secondo caso, oltre allo spettro elastico è necessario il calcolo di uno spettro di progetto che, attraverso un fattore di comportamento q definito a partire dalla normativa italiana, definisce le accelerazioni in campo plastico per la struttura. Nei seguenti paragrafi si illustra il procedimento seguito per la definizione degli spettri in questione.

6.2.1. Spettro di Risposta allo SLD

Si illustrano di seguito i passaggi seguiti per la definizione dello spettro di risposta elastico allo stato limite di danno per la struttura oggetto d'esame:

- 1) Valutazione della Vita Utile di Riferimento della struttura mediante la formula:

$$V_R = V_N * C_U = 50 * 1 = 50 \text{ anni}$$

In cui V_N è la vita nominale ricavata da tabelle normative, ed è maggiore o uguale a 50 anni per strutture ordinarie, mentre C_U è il coefficiente di occupazione per la struttura, pari a 1 per le strutture di classe II.

Structure	Nominal life V_N
Temporary, Provisional, etc.	≤ 10
Normal buildings, bridges, normal infrastructures, normal dams, etc.	≥ 50
Special structures, strategic bridges, strategic infrastructures, strategic dams	≥ 100

CLASS	I	II	III	IV
OCCUPANCY FACTOR	0.7	1.0	1.5	2.0

Figura 36 - Vita Nominale e Coefficiente di Occupazione

2) Individuazione del Tempo di Ritorno relativo allo Stato Limite di Danno, mediante la tabella seguente, che fa riferimento alla formula:

$$T_R = \frac{V_R}{\ln(1 - P_n \geq 1)} = 50 \text{ anni}$$

LIMIT STATES			SERVICE LIFE: $V_N * C_U$			
			35	50	75	100
		PROBABILITY OF EXCEEDANCE DURING SERVICE LIFE	RETURN PERIOD (years)			
SLS	SLO	81%	21	30	45	60
	SLD	88%	35	50	75	100
ULS	SLV	10%	332	475	712	949
	SLC	5%	682	975	1462	1950

Figura 37 - Valutazione Tempo di Ritorno SLD

3) Definizione dei parametri necessari alla formulazione dello spettro come da NTC 2018:

- $a_g(g) = 0.0696 \rightarrow$ accelerazione massima del terreno. È necessario moltiplicarla per l'accelerazione di gravità per ottenere un valore in m/s^2 ;
- $F_0 = 2,422 \rightarrow$ rapporto tra massima accelerazione spettrale e massima accelerazione del terreno;
- $T_C^* = 0.315 \rightarrow$ periodo alla fine della regione ad accelerazione costante (valore ridotto);
- $S = S_s * S_T = 1,8 \rightarrow$ Effetto del terreno, calcolato come prodotto dell'effetto dato dalla tipologia di terreno sottostante la struttura (S_S) e l'effetto topografico (S_T);
 - $S_T = 1 \rightarrow$ Unitario dato che la struttura è in piano;
 - $S_s = 1,8 \rightarrow$ Valutato a partire dalla classe del terreno che in questo caso è D.

I valori elencati sono ottenuti tramite il software “Spettri Win” che consente di ricavare i parametri sismici di una località all'interno dei confini dello stato italiano in maniera automatica. Basterà infatti ricordare le coordinate del comune di Guardialfiera (CB) ed inserirle nell'apposita finestra, per ottenere i dati richiesti nel calcolo. Di seguito si riportano le coordinate del comune:

41°80'40"N ; 14°79'30"E

Di seguito le coordinate esatte del sito:

41°48'36"N ; 14°49'48"E

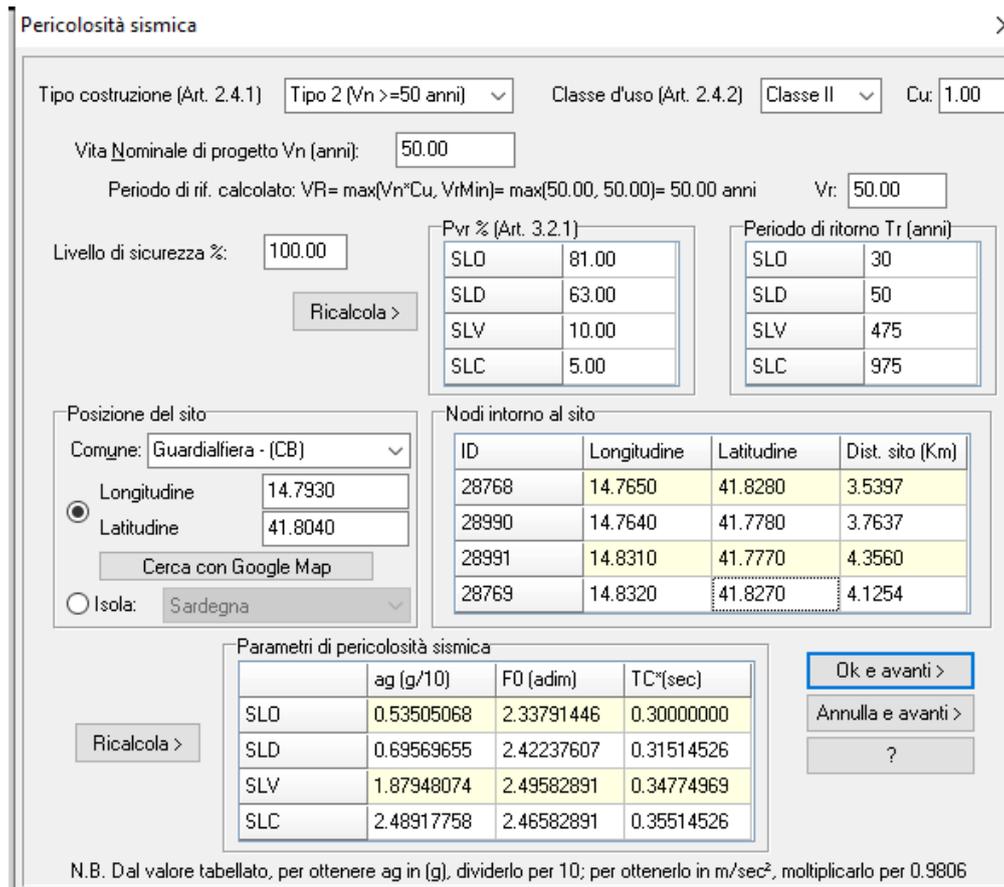


Figura 38 - Schermata del Programma Spettri Win

4) Sintesi dei valori dei coefficienti calcolati e definizione delle equazioni dei tratti dello spettro di risposta (secondo l'immagine seguente):

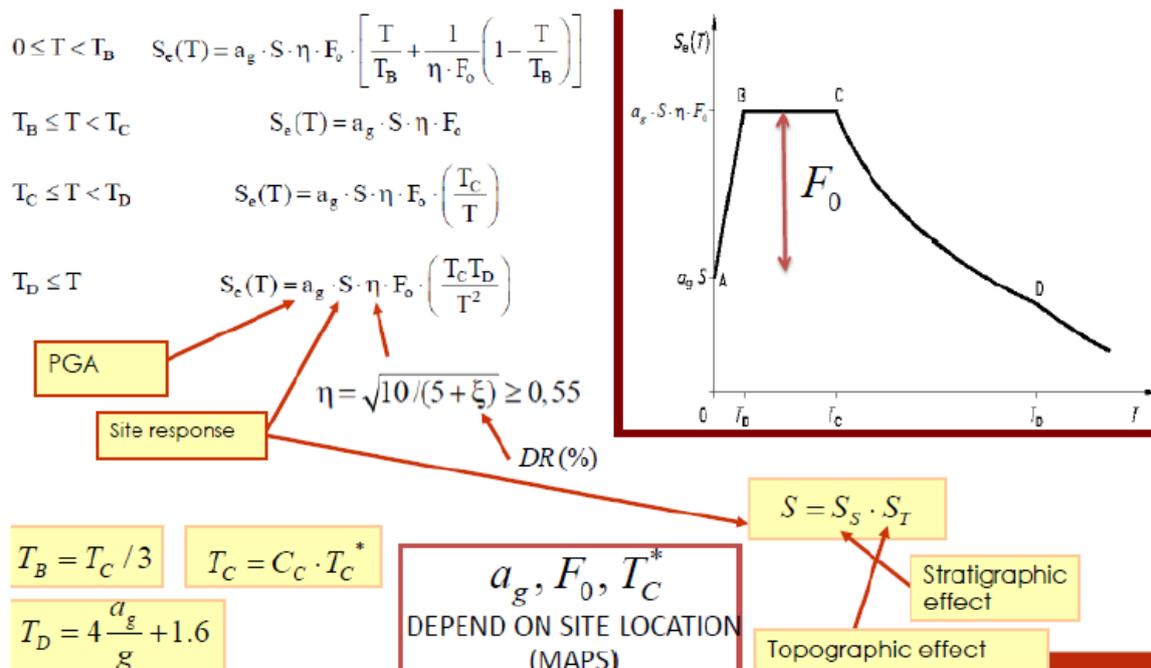


Figura 39 - Formulazione dei tratti dello spettro di risposta ad SLD

STATO LIMITE DI DANNEGGIAMENTO [SLD]		
Vn - Vita Nom	50	[anni]
Cu - Coeff. Occ	1	[/]
Vr - Vita di Rif	50	[anni]
Tr [SLD]	50	[s]
ag/g	0,070	[/]
ag	0,682	[m/s ²]
F0	2,422	[/]
Tc*	0,315	[s]
Ss Valore Eff	1,8	[/]
St - Resp. Sito	1	[/]
S - Resp. Sito Compl	1,8	[/]
Td	1,878	[s]
Cc	2,227	[/]
Tc	0,702	[s]
Tb	0,234	[s]
ξ	5	[%]
η	1	[/]

5) Plot dello Spettro di Risposta allo Stato Limite di Danno:

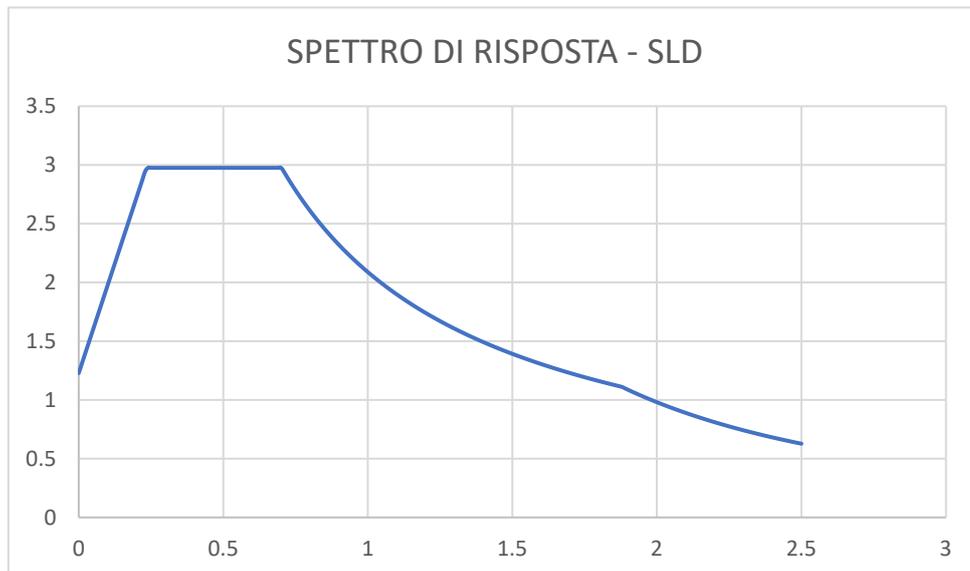


Figura 40 - Spettro di Risposta allo Stato Limite di Danno

6.2.2. Spettro di Risposta allo SLV

La procedura per il calcolo dello spettro elastico allo SLV risulta essere identica alla precedente. In questo caso però è necessario fare uno step ulteriore dato che, essendo la struttura in campo plastico allo stato limite di salvaguardia della vita, non è corretto valutare le accelerazioni massime con il classico spettro valutato anche in precedenza ma si ritiene necessario tenere in considerazione la duttilità della struttura stessa. Prima di questa valutazione però si riportano i parametri calcolati per il plot dello spettro elastico, come fatto nel paragrafo precedente.

LIMIT STATES			SERVICE LIFE: $V_N \cdot C_U$			
			35	50	75	100
		PROBABILITY OF EXCEEDANCE DURING SERVICE LIFE	RETURN PERIOD (years)			
SLS	SLO	81%	21	30	45	60
	SLD	63%	35	50	75	100
ULS	SLV	10%	332	475	712	949
	SLC	5%	682	975	1462	1950

Figura 41 - Valutazione Tempo di Ritorno SLV

STATO LIMITE DI SALVAGUARDIA DELLA VITA [SLV]		
Vn - Vita Nom	50	[anni]
Cu - Coeff. Occ	1	[/]
Vr - Vita di Rif	50	[anni]
Tr [SLD]	475	[s]
ag/g	0,188	[/]
ag	1,844	[m/s ²]
F0	2,496	[/]
Tc*	0,348	[s]
Ss Valore Effettivo	1,696	[/]
St - Resp. Sito	1	[/]
S - Resp. Sito Compl	1,696	[/]
Td	2,352	[s]
Cc	2,120	[/]
Tc	0,737	[s]
Tb	0,246	[s]
ξ	5	[%]
η	1	[/]

Grazie a questi parametri è possibile dapprima calcolare lo spettro elastico, e poi tracciare lo spettro di progetto tenendo conto della duttilità della struttura. Per fare questo si fa riferimento ad un fattore di comportamento q , che secondo normativa italiana ha un andamento lineare, partendo da un valore unitario, per periodi inferiori a T_B ed un andamento costante per periodi maggiori. Il fattore di comportamento q sarà posto come denominatore nella formulazione dello spettro elastico, andando a ridurre quindi i valori di accelerazione conseguenti.

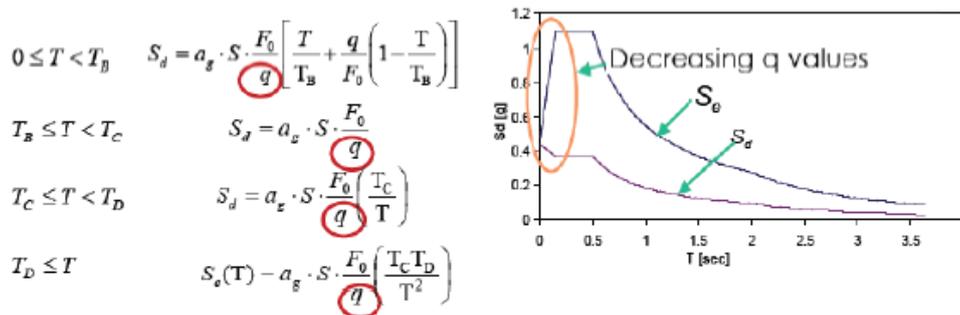


Figura 42 - Formulazione di calcolo dello Spettro di Progetto che porta in conto la duttilità

La valutazione di questo fattore q si rifà alla ISO 22156, in cui si tratta l'ambito sismico in maniera abbastanza ridotta. La normativa non è molto completa da questo punto di vista, ma si fa un'assunzione importante riguardante il bambù in ambito sismico: esso deve lavorare in ambito elastico, ne consegue che il fattore q deve essere considerato unitario.

Di conseguenza, lo spettro di risposta allo stato limite di salvaguardia della vita preso in considerazione rimane quello elastico, calcolato facendo riferimento ai parametri precedentemente riportati ed illustrato nella figura seguente.

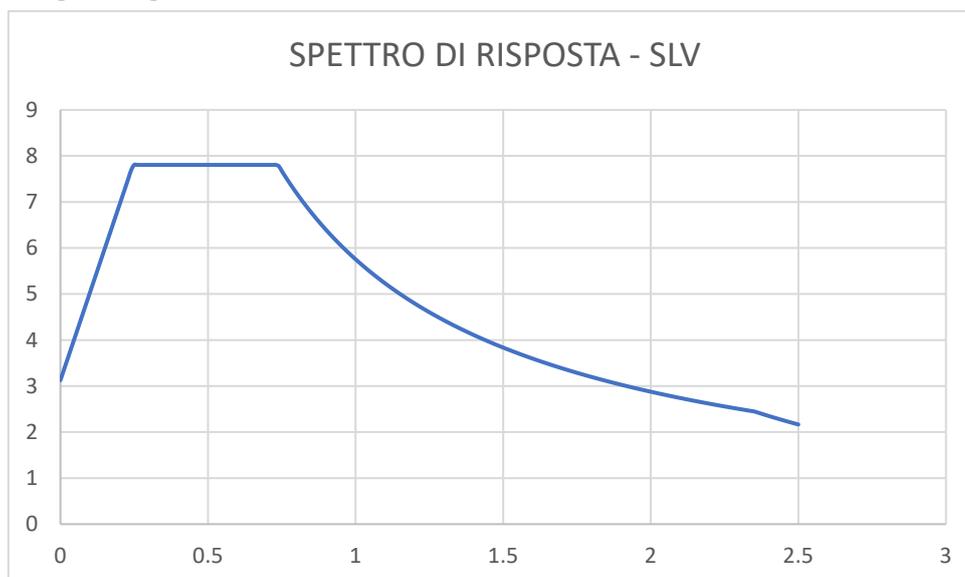


Figura 43 - Spettro di Risposta allo Stato Limite di Salvaguardia della Vita

6.3. Applicazione del Metodo delle Forze Laterali

Una volta definiti gli spettri di risposta agli SLD ed SLV si procede alla definizione delle forze orizzontali statiche equivalenti che, applicate alla struttura, permettono di portare in conto l'azione del sisma. Per fare ciò non si conduce un'analisi modale completa bensì si sviluppa il metodo delle forze laterali. Questo metodo consente il calcolo delle forze statiche di piano facendo riferimento ad un solo modo di vibrare (il primo) caratterizzato da un periodo di riferimento calcolato come segue:

$$T_1 = C_t * H^{3/4}$$

In cui C_t è un valore caratterizzato in base al tipo di struttura ed H è l'altezza totale dell'edificio. Il procedimento completo si può schematizzare nei seguenti punti:

- 1) Definizione del periodo del primo modo di vibrare T_1 ;
- 2) Calcolo delle accelerazioni S_d relative al periodo appena calcolato facendo riferimento ai due spettri di risposta: spettro elastico allo SLD e spettro di progetto allo SLV;
- 3) Calcolo del taglio alla base della struttura rispetto i due stati limite con la formula:

$$F_b = S_d(T_1) * m_{tot} * \lambda$$

cui λ è un coefficiente che porta in conto il rapporto di massa modale efficace del primo modo di vibrare e che assumiamo pari a 0,85;

- 4) Ripartizione del taglio alla base sui singoli piani sfruttando la formula:

$$F_i = F_b * \frac{z_i * m_i}{\sum z_j * m_j}$$

In cui $z_i * m_i$ è il prodotto tra la quota del generico piano e la sua massa mentre $z_j * m_j$ è la somma dei prodotti di quota e massa dei piani della struttura. Nel caso specifico delle tre coperture "a foglia" il piano è unico, quindi, non servirà ripartire le forze verticalmente e si assume:

$$F_i = F_b$$

Seguendo questo procedimento otteniamo 3 forze orizzontali per lo SLD e 4 forze per lo SLV, che si è scelto di dividere in parti uguali in base al numero di pilastri per ciascuna copertura, in modo da semplificarne l'applicazione sul modello della struttura. Si precisa comunque che l'applicazione di questo metodo è limitata ai casi di strutture il cui periodo fondamentale T_1 sia minore o uguale di 4 volte T_c e comunque minore di 2 secondi.

Di seguito si vanno a riportare le tabelle relative ai risultati di questo metodo dapprima per lo SLD e poi per lo SLV.

FOGLIA #1					
CALCOLO Fb - SLD			CALCOLO Fb - SLV		
Ct	0,075	[/]	Ct	0,075	[/]
H	4,540	[m]	H	4,540	[m]
T1	0,233	[s]	T1	0,233	[s]
T1<=2Tc	SI		T1<=2Tc	SI	
T1<=4Tc	SI		T1<=4Tc	SI	
T1<=2 s	SI		T1<=2 s	SI	
λ	1,000	[/]	λ	1,000	[/]
Sd	2,971	m/s ²	Sd	7,567	m/s ²
m	727,829	kg	m	727,829	kg
Fb	2,162	kN	Fb	5,508	kN

FOGLIA #2					
CALCOLO Fb - SLD			CALCOLO Fb - SLV		
Ct	0,075	[/]	Ct	0,075	[/]
H	3,380	[m]	H	3,380	[m]
T1	0,187	[s]	T1	0,187	[s]
T1<=2Tc	SI		T1<=2Tc	SI	
T1<=4Tc	SI		T1<=4Tc	SI	
T1<=2 s	SI		T1<=2 s	SI	
λ	1,000	[/]	λ	0,850	[/]
Sd	2,625	m/s ²	Sd	6,686	m/s ²
m	537,129	kg	m	537,129	kg
Fb	1,410	kN	Fb	3,052	kN

FOGLIA #3					
CALCOLO Fb - SLD			CALCOLO Fb - SLV		
Ct	0,075	[/]	Ct	0,075	[/]
H	4,100	[m]	H	4,100	[m]
T1	0,216	[s]	T1	0,216	[s]
T1<=2Tc	SI		T1<=2Tc	SI	
T1<=4Tc	SI		T1<=4Tc	SI	
T1<=2 s	SI		T1<=2 s	SI	
λ	1,000	[/]	λ	0,850	[/]
Sd	2,843	m/s ²	Sd	7,240	m/s ²
m	625,555	kg	m	625,555	kg
Fb	1,778	kN	Fb	3,850	kN

FORZA DA APPLICARE AL SINGOLO PILASTRO			
#leaf	n pil	fi SLD [kN]	fi SLV [kN]
Foglia #1	7	0,309	0,787
Foglia #2	5	0,282	0,610
Foglia #3	5	0,356	0,770

Si nota che, come da previsione, le forze da applicare alla struttura sono molto ridotte e che la loro influenza sul comportamento strutturale è molto minore rispetto a quella dei carichi variabili precedentemente introdotti.

6.4. Combinazione delle Azioni Sismiche e Applicazione nel Modello

Le azioni sismiche calcolate nel paragrafo precedente andranno applicate sulla struttura nelle due direzioni principali, x e y, in quanto non è possibile conoscere a priori la direzione delle onde sismiche. A tal fine vengono creati 4 load cases aggiuntivi e si riporta di seguito, a titolo esemplificativo, l'applicazione delle forze nelle due direzioni nel modello Straus7, per la foglia #1.

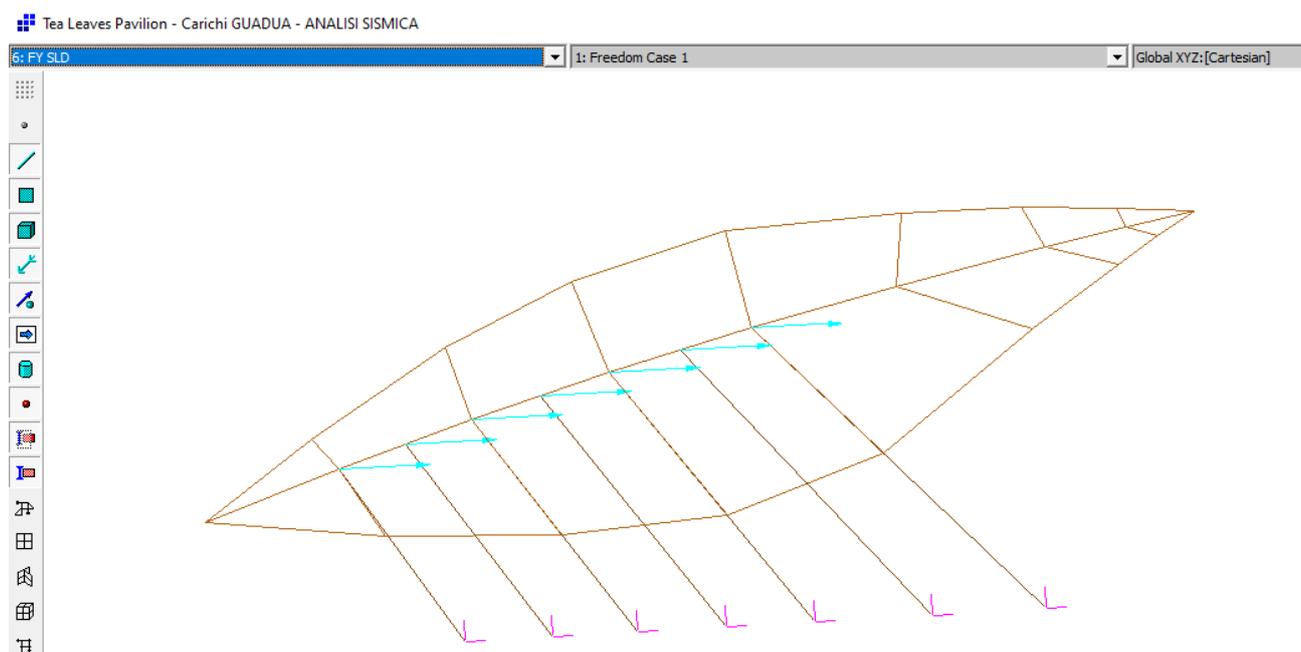


Figura 44 - Applicazione Forze Sismiche Equivalenti in direzione Y (SLD)

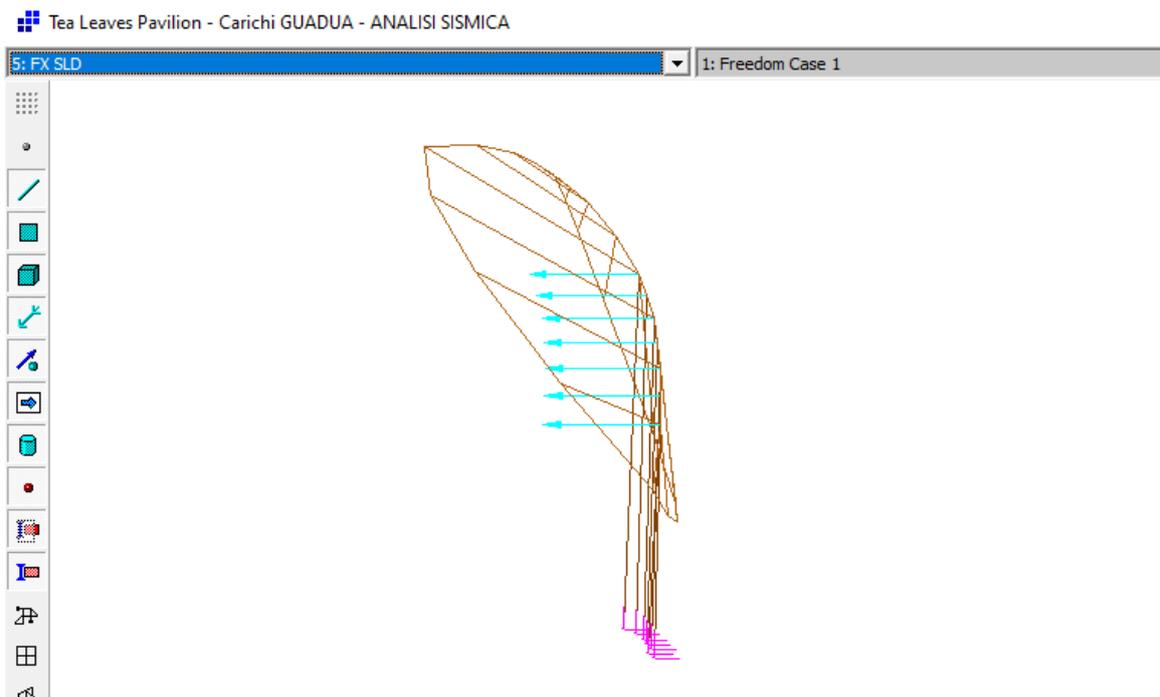


Figura 45 - Applicazione Forze Sismiche Equivalenti in direzione X (SLD)

La combinazione delle suddette forze prevede innanzitutto che si tenga conto della bidirezionalità dell'azione sismica attraverso un fattore di scala pari a 0,3. Di seguito si riportano le formule di combinazione impiegate:

$$E_{Edx} + 0,3 * E_{Edy}$$

$$0,3 * E_{Edx} + E_{Edy}$$

Trascurando la componente verticale siccome $a_{vg} > 0,25g$.

Combination Load Cases

CASES	SLD 1 (FX+0,3FY)			
	1	2	3	4
	SLD 1 (FX+0,3FY)	SLD 2 (0,3FX+FY)	SLV 1 (FX+0,3FY)	SLV 2 (0,3FX+FY)
1: Peso Proprio	1,000000x10 ⁰	1,000000x10 ⁰	1,000000x10 ⁰	1,000000x10 ⁰
2: Carico Neve	0,000000x10 ⁰	0,000000x10 ⁰	0,000000x10 ⁰	0,000000x10 ⁰
3: Carico Vento dir 1	0,000000x10 ⁰	0,000000x10 ⁰	0,000000x10 ⁰	0,000000x10 ⁰
4: Carico Vento dir 2	0,000000x10 ⁰	0,000000x10 ⁰	0,000000x10 ⁰	0,000000x10 ⁰
5: FX SLD	1,000000x10 ⁰	3,000000x10 ⁻¹	0,000000x10 ⁰	0,000000x10 ⁰
6: FY SLD	3,000000x10 ⁻¹	1,000000x10 ⁰	0,000000x10 ⁰	0,000000x10 ⁰
7: FX SLV	0,000000x10 ⁰	0,000000x10 ⁰	1,000000x10 ⁰	3,000000x10 ⁻¹
8: FY SLV	0,000000x10 ⁰	0,000000x10 ⁰	3,000000x10 ⁻¹	1,000000x10 ⁰

Figura 46 - Combinazioni di Carico per bidirezionalità azioni sismiche

Le combinazioni così ottenute si combinano a loro volta con l'azione non sismica quasi permanente andando a definire due casi di carico relativi ai due stati limite. Questa combinazione sarà necessaria per poter definire gli involucri di sollecitazioni e verificare gli elementi strutturali.

Di seguito si riporta la combinazione quasi permanente di riferimento ed il comando utilizzato per generare gli involucri.

$$G_1 + G_2 + \sum_j \psi_{2j} \cdot Q_{kj}$$

In questo caso la combinazione prevede l'applicazione dei soli carichi permanenti strutturali G_1 , in quanto il coefficiente di combinazione $\psi_{2j} = 0$ per azioni variabili di vento e neve su coperture non praticabili.

Envelopes

Limit Envelopes	Combination Envelopes	Factors Envelopes
		OFF
		1: Combination Max Envelope
		2: Combination Max Envelope
CASES	INVILUPPO SLD	Envelope Case
1: Peso Proprio	OFF	OFF
2: Carico Neve	OFF	OFF
3: Carico Vento dir 1	OFF	OFF
4: Carico Vento dir 2	OFF	OFF
5: FX SLD	OFF	OFF
6: FY SLD	OFF	OFF
7: FX SLV	OFF	OFF
8: FY SLV	OFF	OFF
9: SLU (VENTO NORD + NEVE)	OFF	OFF
10: SLU 2 (VENTO SUD + NEVE)	OFF	OFF
11: SLU 3 (NEVE + VENTO NORD)	OFF	OFF
12: SLU 4 (NEVE + VENTO SUD)	OFF	OFF
13: SLE RARA 1 (VENTO NORD + NEVE)	OFF	OFF
14: SLE RARA 2 (VENTO SUD + NEVE)	OFF	OFF
15: SLE RARA 3 (NEVE + VENTO NORD)	OFF	OFF
16: SLE RARA 4 (NEVE + VENTO SUD)	OFF	OFF
17: SLE QUASI PERMANENTE	ON	ON
18: SLD 1 (FX+0,3FY)	ON	OFF
19: SLD 2 (0,3FX+FY)	ON	OFF
20: SLV 1 (FX+0,3FY)	OFF	ON
21: SLV 2 (0,3FX+FY)	OFF	ON

Figura 47 - Comando di Inviluppo Straus7

6.5. Verifica SLD – Spostamenti Interpiano

In relazione allo SLD risulta necessario verificare la limitazione degli spostamenti interpiano, seguendo la limitazione imposta dalla seguente disequazione:

$$d_r * v \leq 0,01h$$

In cui:

- d_r è lo spostamento interpiano, ottenuto sottraendo lo spostamento del piano inferiore allo spostamento del piano oggetto di verifica. Si precisa che in questo caso, avendo un solo piano, è stato considerato il solo spostamento in testa ai pilastri ricavato dal modello Straus7 nelle due direzioni x e y.

- $v = 1$ siccome in questo caso gli spettri di risposta sono stati definiti seguendo la normativa italiana, che considera due spettri differenti allo SLD ed allo SLV;

- h è l'altezza dell'interpiano.

Di seguito si riporta la verifica delle limitazioni appena illustrate in entrambe le direzioni X e Y, e si nota che la verifica sia superata ovunque.

VERIFICA SPOSTAMENTI INTERPIANO							
			SPOSTAMENTI		LIMITE	VERIFICA	
	Pilastro	h [m]	dr x [m]	dr y [m]	Lim.[m]	VER. X	VER. Y
FOGLIA #1	1	1,97	0,0023	0,0027	0,0197	VERIFICATO	VERIFICATO
	2	2,44	0,0018	0,0027	0,0244	VERIFICATO	VERIFICATO
	3	2,88	0,0015	0,0027	0,0288	VERIFICATO	VERIFICATO
	4	3,29	0,0013	0,0027	0,0329	VERIFICATO	VERIFICATO
	5	2,205	0,0011	0,0027	0,02205	VERIFICATO	VERIFICATO
	6	2,66	0,0009	0,0026	0,0266	VERIFICATO	VERIFICATO
	7	3,085	0,0006	0,0026	0,03085	VERIFICATO	VERIFICATO
FOGLIA #2	8	2,48	0,0005	0,0039	0,0248	VERIFICATO	VERIFICATO
	9	2,75	0,0002	0,0038	0,0275	VERIFICATO	VERIFICATO
	10	3	0,0008	0,0037	0,03	VERIFICATO	VERIFICATO
	11	3,18	0,0014	0,0036	0,0318	VERIFICATO	VERIFICATO
	12	3,29	0,0022	0,0037	0,0329	VERIFICATO	VERIFICATO
FOGLIA #3	13	4,07	0,0086	0,0095	0,0407	VERIFICATO	VERIFICATO
	14	3,8	0,0072	0,0089	0,038	VERIFICATO	VERIFICATO
	15	3,4	0,0054	0,0082	0,034	VERIFICATO	VERIFICATO
	16	2,89	0,0035	0,0073	0,0289	VERIFICATO	VERIFICATO
	17	2,26	0,0014	0,0064	0,0226	VERIFICATO	VERIFICATO

6.6. Verifica SLV – Trascurabilità Effetti del Secondo Ordine

Allo stato limite ultimo risulta necessario un controllo riguardante anche in questo caso gli spostamenti interpiano. Si vuole evitare che gli effetti del secondo ordine, ovvero derivanti dal carico assiale sugli elementi strutturali, siano grandi abbastanza da non poter essere trascurati, e per farlo bisogna rispettare per ciascuna delle due direzioni la seguente disequazione:

$$\theta = \frac{P_{tot} * d_r}{V_{tot} * h} \leq 0,10$$

In cui:

- θ è il coefficiente di sensibilità dello spostamento interpiano;
- P_{tot} è il carico gravitazionale agente al piano oggetto di verifica;
- d_r è lo spostamento interpiano, valutato come nel paragrafo precedente ma utilizzando un fattore di comportamento pari a 1 (siamo a SLV);
- V_{tot} è il taglio sismico totale al piano, ricavato dall'analisi lineare;
- h è l'altezza interpiano.

Di seguito si illustra il calcolo del taglio totale in testa ai pilastri:

CALCOLO TAGLIO SISMICO PER OGNI PIANO								
	Colonna 1	Colonna 2	Colonna 3	Colonna 4	Colonna 5	Colonna 6	Colonna 7	TOTALE [kN]
FOGLIA #1	2,94	1,42	0,91	0,89	0,46	0,48	0,13	7,23
FOGLIA #2	0,3038	0,65	0,94	1,2	1,44	/	/	4,5338
FOGLIA #3	1,81	1,54	1,37	0,86	0,57	/	/	6,15
FOGLIA #1	8,24	6,68	5,3	4,52	3,96	3,51	2,61	34,82
FOGLIA #2	7,13	6,32	5,58	5,14	4,55	/	/	28,72
FOGLIA #3	5,14	5,77	6,65	11,18	12,88	/	/	41,62

Una volta valutato il taglio, sarà verificata la disequazione di partenza per le due direzioni x e y, i cui risultati si riportano di seguito. Le verifiche risultano tutte abbondantemente superate.

VERIFICA TRASCURABILITA' EFFETTI SECONDO ORDINE										
	Pilastro	Ptot [kN]	Vtot dir x	Vtot dir y	dr x [m]	dr y [m]	θ x	VERIFICA DIR X	θ y	VERIFICA DIR Y
FOGLIA #1	1	7,1356	7,23	34,82	0,0035	0,0031	0,0018	VERIFICATO	0,0003	VERIFICATO
	2	7,1356	7,23	34,82	0,0032	0,0031	0,0013	VERIFICATO	0,0003	VERIFICATO
	3	7,1356	7,23	34,82	0,0031	0,0031	0,0011	VERIFICATO	0,0002	VERIFICATO
	4	7,1356	7,23	34,82	0,0031	0,0031	0,0009	VERIFICATO	0,0002	VERIFICATO
	5	7,1356	7,23	34,82	0,0031	0,0031	0,0014	VERIFICATO	0,0003	VERIFICATO
	6	7,1356	7,23	34,82	0,003	0,003	0,0011	VERIFICATO	0,0002	VERIFICATO
	7	7,1356	7,23	34,82	0,0029	0,003	0,0009	VERIFICATO	0,0002	VERIFICATO
FOGLIA #2	8	5,2660	4,54	28,72	0,0003	0,0042	0,0001	VERIFICATO	0,0003	VERIFICATO
	9	5,2660	4,54	28,72	0,0012	0,0041	0,0005	VERIFICATO	0,0003	VERIFICATO
	10	5,2660	4,54	28,72	0,002	0,004	0,0008	VERIFICATO	0,0002	VERIFICATO
	11	5,2660	4,54	28,72	0,0027	0,0039	0,0010	VERIFICATO	0,0002	VERIFICATO
	12	5,2660	4,54	28,72	0,0037	0,0039	0,0013	VERIFICATO	0,0002	VERIFICATO
FOGLIA #3	13	6,1329	6,15	41,62	0,0118	0,0111	0,0029	VERIFICATO	0,0004	VERIFICATO
	14	6,1329	6,15	41,62	0,01	0,0104	0,0026	VERIFICATO	0,0004	VERIFICATO
	15	6,1329	6,15	41,62	0,0078	0,0095	0,0023	VERIFICATO	0,0004	VERIFICATO
	16	6,1329	6,15	41,62	0,0052	0,0084	0,0018	VERIFICATO	0,0004	VERIFICATO
	17	6,1329	6,15	41,62	0,0025	0,0072	0,0011	VERIFICATO	0,0005	VERIFICATO

6.7. Verifica SLV – Sollecitazioni Agenti su Travi e Pilastrini

Nel seguente paragrafo verranno condotte le verifiche già viste nel capitolo 5, questa volta rispetto alle sollecitazioni derivanti dalla combinazione sismica. Le formulazioni restano le stesse rispetto ai paragrafi dal 5.1.1 al 5.1.5. Alla stessa maniera della trattazione precedente, si riportano solamente i calcoli relativi agli elementi strutturali più sollecitati per brevità.

Inoltre, si sottolinea come i valori di resistenza impiegati siano quelli calcolati in precedenza nel capitolo 3, specifici dell'ambito sismico.

6.7.1. Verifica a Flessione

La verifica a flessione si riporta per gli elementi trave della foglia #3. Le verifiche risultano essere tutte superate dato il numero di culmi definiti nel capitolo 5.

VERIFICA A FLESSIONE - Evento Sismico						
	TRAVI PRINCIPALI					
N EI	48	49	50	51	52	53
n culmi	2	2	2	2	2	2
D culmi	150	150	150	150	150	150
s culmi	15	15	15	15	15	15
fm	45,254	45,254	45,254	45,254	45,254	45,254
Si	1,956E-07	1,956E-07	1,956E-07	1,956E-07	1,956E-07	1,956E-07
Mi	8,853	8,853	8,853	8,853	8,853	8,853
Mr	17,705	17,705	17,705	17,705	17,705	17,705
Md	0,647	0,24	0,24	0,247	0,437	0,521
Verifica	VERIFICATA	VERIFICATA	VERIFICATA	VERIFICATA	VERIFICATA	VERIFICATA

VERIFICA A FLESSIONE - Evento Sismico						
	TRAVI SECONDARIE					
N EI	54	55	56	57	58	59
n culmi	1	1	1	1	1	1
D culmi	150	150	150	150	150	150
s culmi	15	15	15	15	15	15
fm	45,254	45,254	45,254	45,254	45,254	45,254
Si	1,956E-07	1,956E-07	1,956E-07	1,956E-07	1,956E-07	1,956E-07
Mi	8,853	8,853	8,853	8,853	8,853	8,853
Mr	8,853	8,853	8,853	8,853	8,853	8,853
Md	0,524	0,862	0,811	0,745	0,755	0,927
Verifica	VERIFICATA	VERIFICATA	VERIFICATA	VERIFICATA	VERIFICATA	VERIFICATA

VERIFICA A FLESSIONE - Evento Sismico						
	TRAVI SECONDARIE					
N EI	60	61	62	63	64	65
n culmi	1	1	1	1	1	1
D culmi	150	150	150	150	150	150
s culmi	15	15	15	15	15	15
fm	45,254	45,254	45,254	45,254	45,254	45,254
Si	1,956E-07	1,956E-07	1,956E-07	1,956E-07	1,956E-07	1,956E-07
Mi	8,853	8,853	8,853	8,853	8,853	8,853
Mr	8,853	8,853	8,853	8,853	8,853	8,853
Md	0,462	1,56	1,29	1,33	1,46	2,11
Verifica	VERIFICATA	VERIFICATA	VERIFICATA	VERIFICATA	VERIFICATA	VERIFICATA

6.7.2. Verifica a Taglio

La verifica a taglio si riporta per gli elementi pilastro della foglia #3. Le verifiche sono tutte superate con il numero di culmi definiti nel capitolo 5.

VERIFICA A TAGLIO - Evento Sismico					
	PILASTRI FOGLIA #3				
N EI	13	14	15	16	17
n culmi	4	4	4	4	4
D culmi	150	150	150	150	150
s culmi	15	15	15	15	15
fv	3,955	3,955	3,955	3,955	3,955
molt	3206,935	3206,935	3206,935	3206,935	3206,935
Vi	12,684	12,684	12,684	12,684	12,684
Vr	50,734	50,734	50,734	50,734	50,734
Vd	1,81	1,54	1,37	0,86	0,576
Verifica	VERIFICATA	VERIFICATA	VERIFICATA	VERIFICATA	VERIFICATA

6.7.3. Verifica a Sforzo Normale

La verifica a sforzo normale si riporta per gli elementi pilastro della foglia #1. Le verifiche sono tutte superate con il numero di culmi definiti nel capitolo 5.

VERIFICA A SFORZO NORMALE - Evento Sismico							
PILASTRI FOGLIA #1							
N EI	1	2	3	4	5	6	7
n culmi	4	4	4	4	4	4	6
D culmi	150	150	150	150	150	150	150
s culmi	15	15	15	15	15	15	15
fc	39,731	39,731	39,731	39,731	39,731	39,731	39,731
Ai	6361,725	6361,725	6361,725	6361,725	6361,725	6361,725	6361,725
ΣAi	25446,900	25446,900	25446,900	25446,900	25446,900	25446,900	38170,351
Pc	1011,038	1011,038	1011,038	1011,038	1011,038	1011,038	1516,556
Ed	13260	13260	13260	13260	13260	13260	13260
Imin	1,467E+07						
bmax	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000
L	2350,000	2660,000	2970,000	3270,000	3570,000	4040,000	4540,000
b0	0,002	0,002	0,002	0,002	0,001	0,001	0,001
Cbow	0,894	0,906	0,916	0,924	0,930	0,938	0,945
K	2,100	2,100	2,100	2,100	2,100	2,100	2,100
Pe	281,813	223,007	180,820	150,421	127,081	100,102	119,764
c	0,800	0,800	0,800	0,800	0,800	0,800	0,800
Ncr	263,275	211,783	173,620	145,528	123,636	97,998	117,781
Ncd	0,000	6,110	3,840	4,331	2,420	3,980	12,720
Verifica	VERIFICATA						

6.7.4. Verifica a PressoFlessione

La verifica a pressoflessione si riporta per gli elementi pilastro della foglia #1. Le verifiche sono tutte superate con il numero di culmi definiti nel capitolo 5.

VERIFICA A PRESSOFLESSIONE - Evento Sismico							
PILASTRI FOGLIA #1							
NEI	1	2	3	4	5	6	7
n culmi	4	4	4	4	4	4	6
D culmi	150	150	150	150	150	150	150
s culmi	15	15	15	15	15	15	15
fc	39,731	39,731	39,731	39,731	39,731	39,731	39,731
Ai	6361,725	6361,725	6361,725	6361,725	6361,725	6361,725	6361,725
Σ Ai	25446,900	25446,900	25446,900	25446,900	25446,900	25446,900	38170,351
Pc	1011,038	1011,038	1011,038	1011,038	1011,038	1011,038	1516,556
Ed	13260	13260	13260	13260	13260	13260	13260
lmin	1,467E+07						
bmax	5	5	5	5	5	5	5
L	2350	2660	2970	3270	3570	4040	4540
b0	0,0021	0,0019	0,0017	0,0015	0,0014	0,0012	0,0011
Cbow	0,8936	0,9060	0,9158	0,9235	0,9300	0,9381	0,9449
K	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1
Pe	281,813	223,007	180,820	150,421	127,081	100,102	119,764
c	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Ncr	263,275	211,783	173,620	145,528	123,636	97,998	117,781
Ncd	0	6,11	3,84	4,331	2,42	3,98	12,72
fm	33,941	33,941	33,941	33,941	33,941	33,941	33,941
Si	1,956E-07						
Mi	6,640	6,640	6,640	6,640	6,640	6,640	6,640
Mr	26,558	26,558	26,558	26,558	26,558	26,558	39,837
Md	6,65	4,28	3,33	2,94	2,21	1,93	1,35
B	1,000	1,028	1,022	1,030	1,019	1,041	1,119
Pressoflex	0,250	0,195	0,150	0,144	0,104	0,116	0,146
Verifica	VERIFICATA						

6.7.5. Verifica a TensoFlessione

La verifica a pressoflessione si riporta per gli elementi pilastro della foglia #3. Le verifiche sono tutte superate con il numero di culmi definiti nel capitolo 5.

VERIFICA A TENSOFFLESSIONE - Evento Sismico					
PILASTRI FOGLIA #3					
NEI	13	14	15	16	17
n culmi	4	4	4	4	4
D culmi	150	150	150	150	150
s culmi	15	15	15	15	15
ft	26,261	26,261	26,261	26,261	26,261
Ai	6361,725	6361,725	6361,725	6361,725	6361,725
Ntr	668,262	668,262	668,262	668,262	668,262
Ntd	5,64	2,882	0,806	4,07	0
fm	33,9405	33,9405	33,9405	33,9405	33,9405
Si	1,956E-07	1,956E-07	1,956E-07	1,956E-07	1,956E-07
Mi	6,640	6,640	6,640	6,640	6,640
Mr	26,558	26,558	26,558	26,558	26,558
Md	7,32	6,64	6,06	4,91	4,02
Tensoflex	0,284	0,254	0,229	0,191	0,151
Verifica	VERIFICATA	VERIFICATA	VERIFICATA	VERIFICATA	VERIFICATA

6.7.6. Conclusioni

Alla luce delle verifiche riportate nei paragrafi precedenti, si può asserire che il dimensionamento strutturale fatto a valle delle verifiche a SLU è corretto anche dal punto di vista sismico. Di conseguenza si conferma la configurazione strutturale definita sinora e si può procedere con la valutazione a stato limite d'esercizio.

7. Verifiche SLE – Padiglione in Bambù Guadua

Nel seguente capitolo sarà valutata la limitazione in termini di deformazione degli elementi strutturali facenti parte del padiglione realizzato in Guadua Angustifolia. Le due disequazioni seguenti devono essere rispettate ai fini del superamento di questa verifica.

$$w_Q \leq \frac{l}{300}$$
$$w_{tot} \leq \frac{l}{200}$$

In cui:

- w_Q è la freccia dovuta ai carichi permanenti;
- w_{tot} è la freccia dovuta ai carichi permanenti e variabili, complessivamente.

Risulta necessario effettuare una precisazione prima di esporre le verifiche. Alla luce del fatto che il carico permanente è costituito dal solo peso proprio degli elementi strutturali in bambù, che è molto basso, le frecce w_Q risultano essere di ampiezza molto ridotta e quindi trascurabili. Per questa motivazione l'unica verifica che si riporterà è quella relativa ai carichi complessivi, nel rispetto della seconda disequazione.

La combinazione di riferimento è quella a Stato Limite di Esercizio Rara. Di seguito la formulazione da NTC 2018:

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \sum_{j>1} \gamma_{Qj} \cdot \psi_{0j} \cdot Q_{kj}$$

In cui i coefficienti di sicurezza relativi ai carichi sono pari ad 1.

La valutazione dei valori di freccia avviene all'interno del modello Straus7 nelle tre direzioni x,y,z. Saranno verificati gli elementi trave che costituiscono le tre coperture a foglia imponendo nel modello dei vincoli di incastro perfetto in testa ai pilastri, in modo tale da ottenere da output i soli valori di inflessione dei culmi trascurandone i movimenti rigidi dovuti agli spostamenti dei pilastri.

Questa operazione è possibile siccome gli spostamenti in testa ai pilastri sono stati già valutati in precedenza e sono molto ridotti, ed inoltre la struttura è una copertura non praticabile, quindi, la traslazione rigida degli elementi trave non ne inficia lo stato di esercizio.

Di seguito si riporta una schermata relativa al modello da cui vengono estrapolate le frecce oggetto di valutazione, ed anche del comando utilizzato per tale valutazione, ovvero “Listings → Displacements”.

Si può notare inoltre la deformata relativa alla foglia #1, incrementata del 100% per renderla visibile ad occhio nudo.

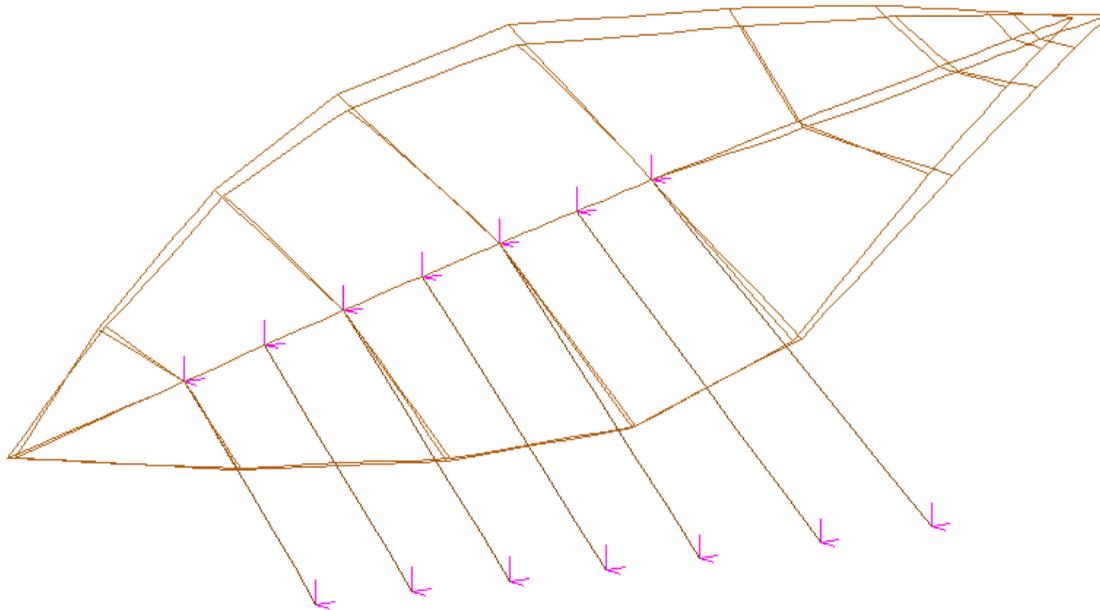


Figura 48 - Deformata Foglia #1 Combinazione SLE Rara

SORT USING: Actual values		DX (m)	DY (m)	DZ (m)	RX (deg)	RY (deg)	RZ (deg)
ENVELOPE: Summary							
1: Peso Proprio							
2: Carico Neve							
3: Carico Vento dir 1							
4: Carico Vento dir 2							
5: FX SLD							
6: FY SLD							
7: FX SLV							
8: FY SLV							
9: SLU (VENTO NORD + NEVE) [Combination 1]							
10: SLU 2 (VENTO SUD + NEVE) [Combination 2]							
11: SLU 3 (NEVE + VENTO NORD) [Combination 3]							
12: SLU 4 (NEVE + VENTO SUD) [Combination 4]							
13: SLE RARA 1 (VENTO NORD + NEVE) [Combination 5]							
14: SLE RARA 2 (VENTO SUD + NEVE) [Combination 6]							
15: SLE RARA 3 (NEVE + VENTO NORD) [Combination 7]							
16: SLE RARA 4 (NEVE + VENTO SUD) [Combination 8]							
17: SLE QUASI PERMANENTE [Combination 9]							
18: SLD 1 (FX+0,3FY) [Combination 10]							
19: SLD 2 (0,3FX+FY) [Combination 11]							
20: SLV 1 (FX+0,3FY) [Combination 12]							
21: SLV 2 (0,3FX+FY) [Combination 13]							
22: Envelope Case [Combination Max Envelope 1]							
Node 1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Node 2	-0,0044	0,0005	0,0003	-0,0324	-0,2926	0,0772	
Node 3	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	
Node 4	-0,0087	0,0008	0,0005	-0,0244	-0,3815	0,0402	
Node 5	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	
Node 6	-0,0134	0,0009	0,0006	-0,0162	-0,4910	0,0300	
Node 7	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	
Node 8	-0,0191	0,0010	0,0004	-0,0693	-0,6713	0,0563	
Node 9	0,0016	-0,0005	0,0013	-0,0877	-0,3551	0,1303	
Node 10	-0,0265	0,0023	-0,0069	-0,1260	-0,9152	0,0100	
Node 11	-0,0309	0,0030	-0,0120	0,0077	-0,9245	-0,1043	
Node 12	-0,0319	0,0034	-0,0142	0,0282	-0,9214	-0,1298	
Node 13	-0,0323	0,0036	-0,0157	0,0292	-0,9173	-0,1339	
Node 14	-0,0008	-0,0005	0,0001	-0,0668	-0,3261	0,0638	
Node 15	-0,0005	-0,0006	0,0007	-0,0239	-0,3686	-0,0308	
Node 16	0,0005	-0,0009	0,0014	-0,0060	-0,4691	-0,0570	
Node 17	-0,0035	-0,0010	0,0005	-0,0757	-0,6170	-0,0301	
Node 18	-0,0177	0,0021	-0,0085	-0,0745	-0,8054	-0,0731	
Node 19	-0,0257	0,0033	-0,0129	-0,0073	-0,8787	-0,1218	
Node 20	-0,0293	0,0035	-0,0144	0,0225	-0,9054	-0,1305	
Node 21	-0,0063	-0,0004	-0,0052	-0,0924	-0,4699	0,0788	
Node 22	-0,0176	0,0014	-0,0162	-0,1545	-0,7463	0,0255	

Figura 49 - Schermata Spostamenti

In ultimo, si riportano le frecce ricavate tramite questa analisi e la verifica rispetto alla limitazione da normativa ISO22156. Alcune travi secondarie non sono state valutate in quanto, data la loro lunghezza ridotta ed il fatto che non sono vincolate direttamente alla pilastrata, subiscono una traslazione rigida senza inflettersi, al contrario delle altre travi.

VERIFICA DEFORMABILITA' - FRECCIA MAX											
TRAVE	LUCE	L/200	FRECCIA DX	FRECCIA DY	FRECCIA DZ	VERIFICA DX	VERIFICA DY	VERIFICA DZ			
FOGLIA #1	PRINCIPALI	1	3,13	0,0157	0,0012	0,0006	0,0011	VERIFICATO	VERIFICATO	VERIFICATO	
		2	3,28	0,0164	0,0000	0,0000	0,0000	VERIFICATO	VERIFICATO	VERIFICATO	
		3	5,22	0,0261	0,0029	0,0021	0,0067	VERIFICATO	VERIFICATO	VERIFICATO	
		4	3,52	0,0176	0,0033	0,0017	0,0058	VERIFICATO	VERIFICATO	VERIFICATO	
		5	3,48	0,0174	0,0083	0,0038	0,0015	VERIFICATO	VERIFICATO	VERIFICATO	
		6	5,4	0,0270	0,0083	0,0038	0,0014	VERIFICATO	VERIFICATO	VERIFICATO	
		7	3,92	0,0196	0,0012	0,0008	0,0011	VERIFICATO	VERIFICATO	VERIFICATO	
		8	3,69	0,0185	0,0013	0,0011	0,0010	VERIFICATO	VERIFICATO	VERIFICATO	
		9	4,46	0,0223	0,0013	0,0210	0,0065	VERIFICATO	VERIFICATO	VERIFICATO	
	SECONDARIE COPERTURA	10	0,94	0,0047	0,0005	0,0001	0,0011	VERIFICATO	VERIFICATO	VERIFICATO	
		11	1,79	0,0090	0,0033	0,0017	0,0058	VERIFICATO	VERIFICATO	VERIFICATO	
		12	2,23	0,0112	0,0061	0,0030	0,0103	VERIFICATO	VERIFICATO	VERIFICATO	
		13	2,22	0,0111	0,0083	0,0038	0,0105	VERIFICATO	VERIFICATO	VERIFICATO	
		14									
		15	/						/		
		16									
	SECONDARIE PARETE	17	0,93	0,0047	0,0001	0,0007	0,0004	VERIFICATO	VERIFICATO	VERIFICATO	
		18	1,61	0,0081	0,0004	0,0008	0,0007	VERIFICATO	VERIFICATO	VERIFICATO	
		19	2,04	0,0102	0,0003	0,0010	0,0008	VERIFICATO	VERIFICATO	VERIFICATO	
		20	2,01	0,0101	0,0013	0,0011	0,0010	VERIFICATO	VERIFICATO	VERIFICATO	
		21									
		22	/						/		
		23									

VERIFICA DEFORMABILITA' - FRECCIA MAX

TRAVE		LUCE	L/200	FRECCIA DX	FRECCIA DY	FRECCIA DZ	VERIFICA DX	VERIFICA DY	VERIFICA DZ	
FOGLIA #2	PRINCIPALI	24	4,43	0,0222	0,0001	0,0004	0,0008	VERIFICATO	VERIFICATO	VERIFICATO
		25	4,12	0,0206	0,0015	0,0002	0,0005	VERIFICATO	VERIFICATO	VERIFICATO
		26	4,66	0,0233	0,0009	0,0018	0,0074	VERIFICATO	VERIFICATO	VERIFICATO
		27	4,76	0,0238	0,0015	0,0018	0,0074	VERIFICATO	VERIFICATO	VERIFICATO
		28	3,67	0,0184	0,0006	0,0004	0,0008	VERIFICATO	VERIFICATO	VERIFICATO
		29	5,29	0,0265	0,0015	0,0004	0,0005	VERIFICATO	VERIFICATO	VERIFICATO
	SECONDARIE COPERTURA	30	/					/		
		31								
		32								
		33	1,33	0,0067	0,0005	0,0008	0,0027	VERIFICATO	VERIFICATO	VERIFICATO
		34	1,9	0,0095	0,0007	0,0014	0,0053	VERIFICATO	VERIFICATO	VERIFICATO
		35	2,23	0,0112	0,0009	0,0018	0,0074	VERIFICATO	VERIFICATO	VERIFICATO
		36	2,04	0,0102	0,0007	0,0017	0,0065	VERIFICATO	VERIFICATO	VERIFICATO
		37	1,35	0,0068	0,0000	0,0012	0,0028	VERIFICATO	VERIFICATO	VERIFICATO
		38	/					/		
		39								
		40								
		41	/					/		
	42									
	43									
	44	1,86	0,0093	0,0006	0,0004	0,0003	VERIFICATO	VERIFICATO	VERIFICATO	
	45	1,68	0,0084	0,0006	0,0004	0,0002	VERIFICATO	VERIFICATO	VERIFICATO	
	46	1,22	0,0061	0,0000	0,0003	0,0002	VERIFICATO	VERIFICATO	VERIFICATO	
	47	/					/			

VERIFICA DEFORMABILITA' - FRECCIA MAX												
TRAVE		LUCE	L/200	FRECCIA DX	FRECCIA DY	FRECCIA DZ	VERIFICA DX	VERIFICA DY	VERIFICA DZ			
FOGLIA #3	PRINCIPALI	48	5,18	0,0259	0,0036	0,0007	0,0005	VERIFICATO	VERIFICATO	VERIFICATO		
		49	4,29	0,0215	0,0009	0,0018	0,0019	VERIFICATO	VERIFICATO	VERIFICATO		
		50	5,99	0,0300	0,0036	0,0060	0,0152	VERIFICATO	VERIFICATO	VERIFICATO		
		51	4,7	0,0235	0,0009	0,0060	0,0152	VERIFICATO	VERIFICATO	VERIFICATO		
		52	4,99	0,0250	0,0037	0,0016	0,0005	VERIFICATO	VERIFICATO	VERIFICATO		
		53	6,37	0,0319	0,0009	0,0019	0,0019	VERIFICATO	VERIFICATO	VERIFICATO		
	SECONDARIE COPERTURA	54	/						/			
		55	2,62	0,0131	0,0010	0,0054	0,0130	VERIFICATO	VERIFICATO	VERIFICATO		
		56	3,12	0,0156	0,0002	0,0060	0,0152	VERIFICATO	VERIFICATO	VERIFICATO		
		57	2,57	0,0129	0,0007	0,0039	0,0101	VERIFICATO	VERIFICATO	VERIFICATO		
		58	1,74	0,0087	0,0008	0,0013	0,0044	VERIFICATO	VERIFICATO	VERIFICATO		
		59	0,9	0,0045	0,0006	0,0006	0,0007	VERIFICATO	VERIFICATO	VERIFICATO		
		SECONDARIE PARETE	60	/						/		
			61	2,65	0,0133	0,0003	0,0016	0,0001	VERIFICATO	VERIFICATO	VERIFICATO	
			62	3,35	0,0168	0,0006	0,0013	0,0005	VERIFICATO	VERIFICATO	VERIFICATO	
			63	3,25	0,0163	0,0004	0,0014	0,0004	VERIFICATO	VERIFICATO	VERIFICATO	
			64	2,47	0,0124	0,0002	0,0015	0,0004	VERIFICATO	VERIFICATO	VERIFICATO	
			65	1,29	0,0065	0,0002	0,0016	0,0000	VERIFICATO	VERIFICATO	VERIFICATO	

Il risultato delle verifiche è soddisfacente, infatti tutte le frecce rientrano nella limitazione normativa pari ad $l/200$. Di conseguenza la struttura in Guadua si ritiene verificata anche a stato limite d'esercizio, ed è possibile, nel prossimo capitolo, riassumere le dimensioni degli elementi attraverso relativi prospetti e sezioni.

8. Disegni Strutturali Definitivi – Padiglione del Tè in Guadua

Nel seguente capitolo si illustrano i prospetti e le piante definitive della struttura con le quotature associate in metri, accompagnate da immagini renderizzate che aiutino a comprendere la disposizione dei culmi. Si ricapitolano i numeri di culmi da impiegare, ottenuti nel calcolo precedente:

- Travi Principali → 2 culmi necessari;
- Travi Secondarie → 1 culmo necessario;
- Pilastri 1-6 e 8-17 → 4 culmi necessari;
- Pilastro 7 → 6 culmi necessari.

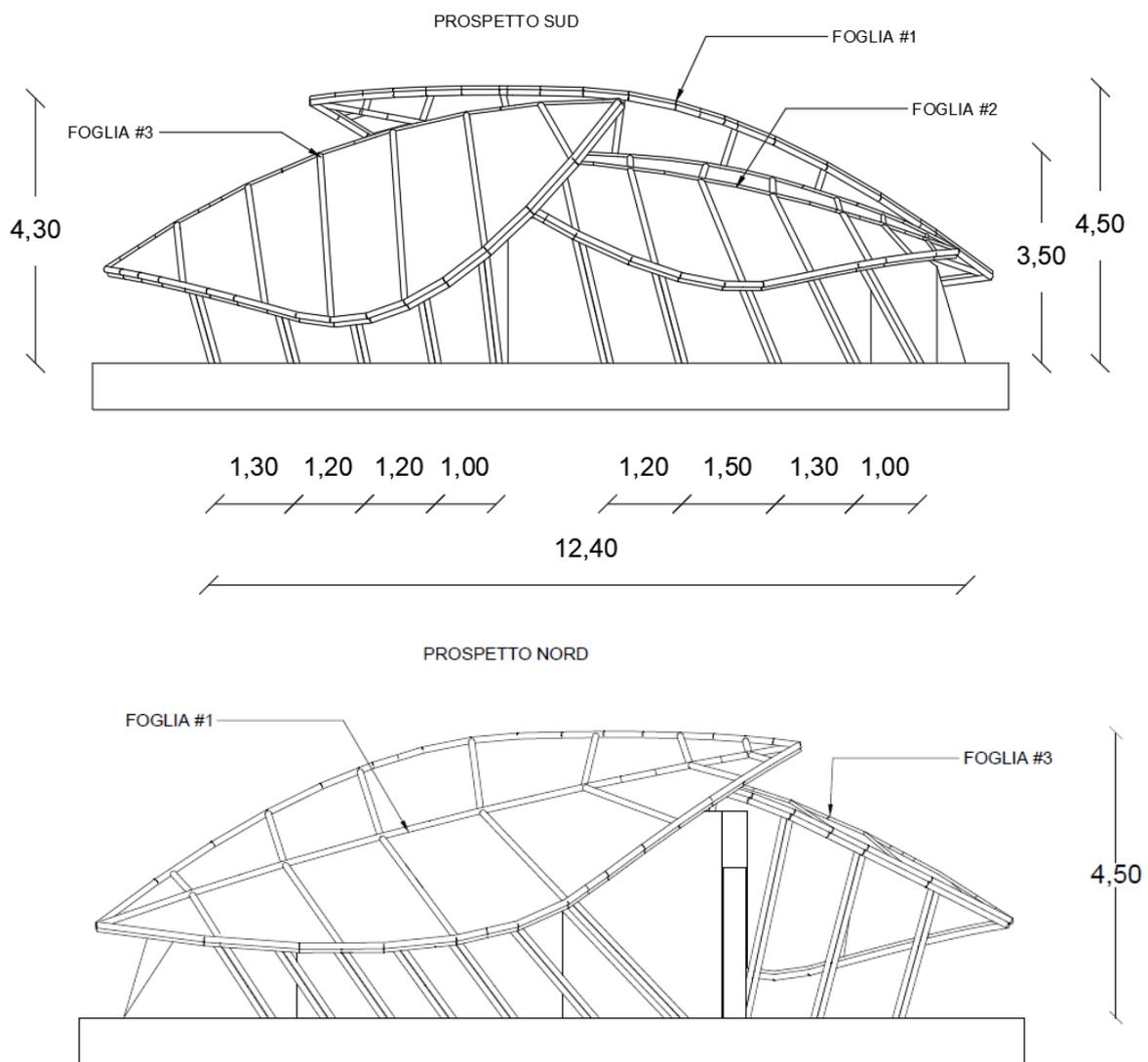


Figura 50 - Prospetti Nord e Sud Definitivi

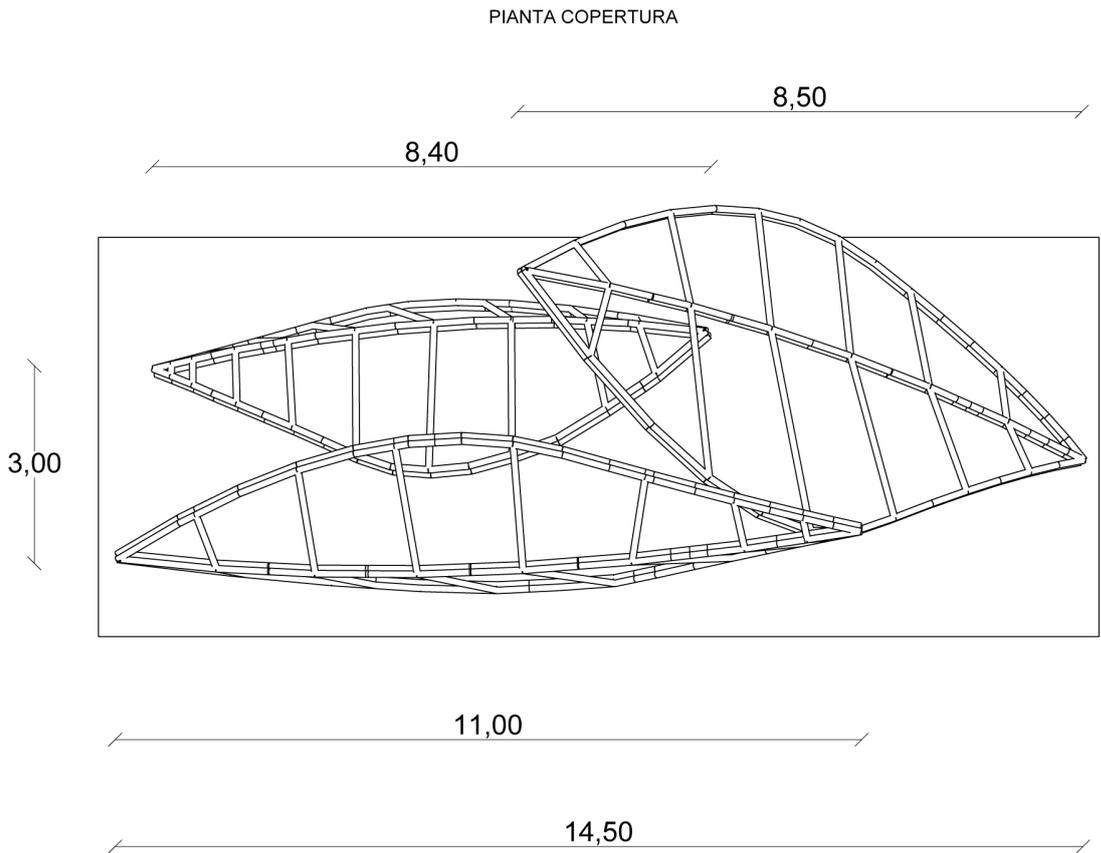


Figura 51 - Pianta della Copertura Definitiva

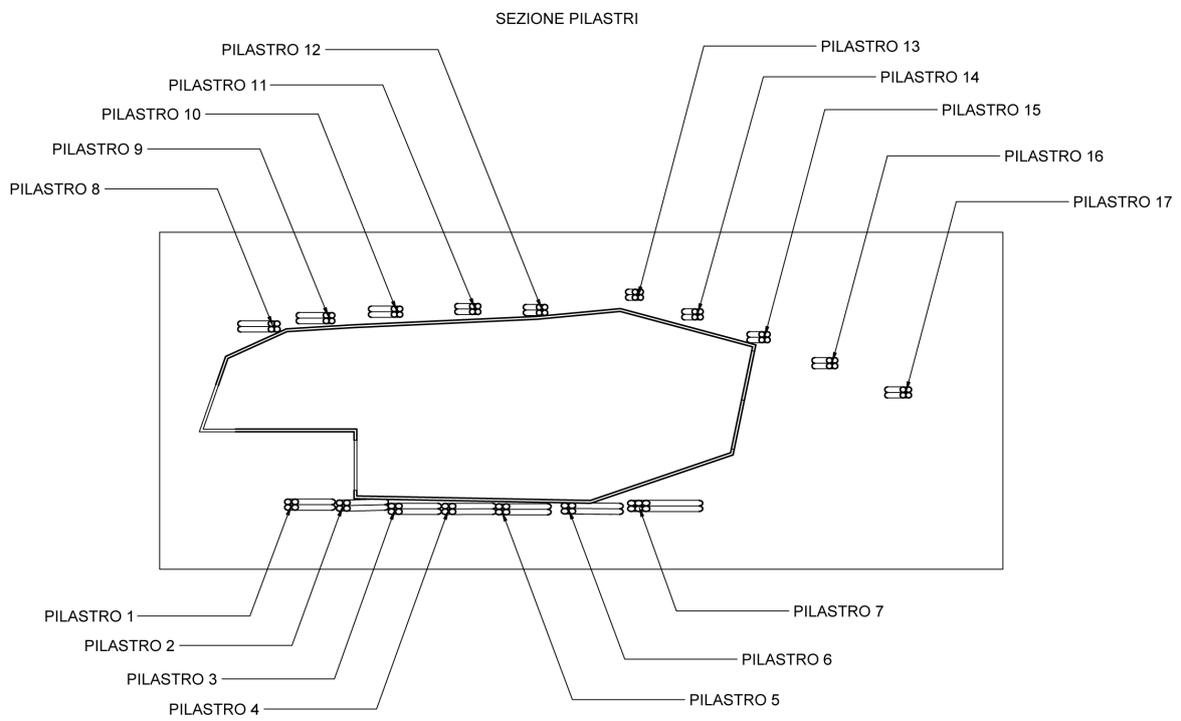


Figura 52 - Sezione ad altezza 1 m e numerazione Pilastri

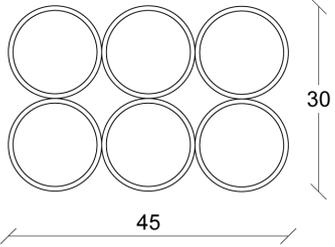
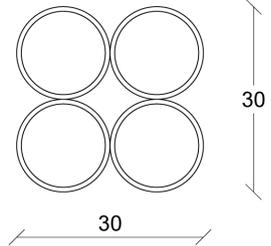
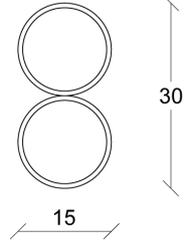
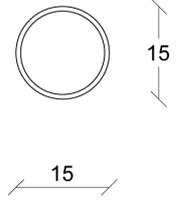
SEZIONE PILASTRO 7	SEZIONE PILASTRI 1-6 ; 8-13
	
SEZIONE TRAVI PRINCIPALI	SEZIONE TRAVI SECONDARIE
	 <div data-bbox="1260 1030 1420 1131" style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content;"> <p>D = 15 cm R = 7,5 cm s = 0,15 cm</p> </div>

Figura - Sezione elementi strutturali del Padiglione

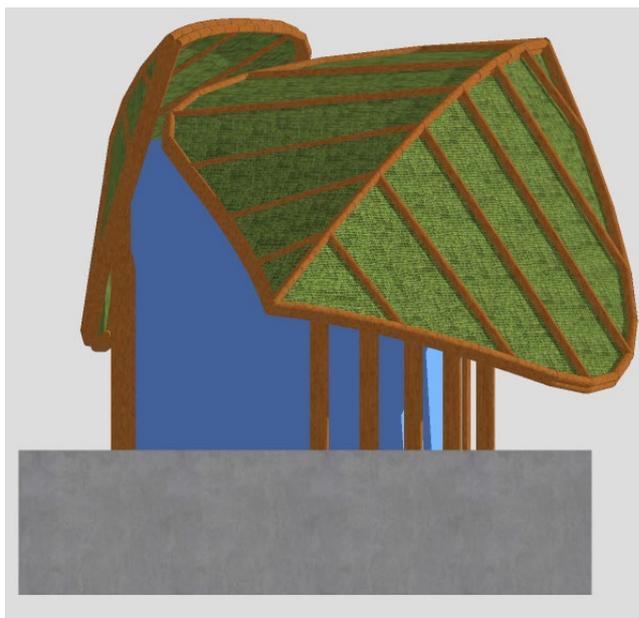
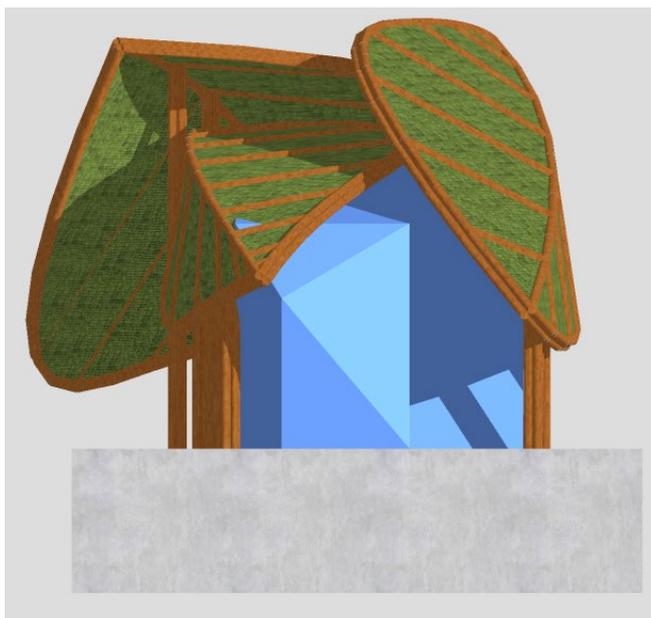
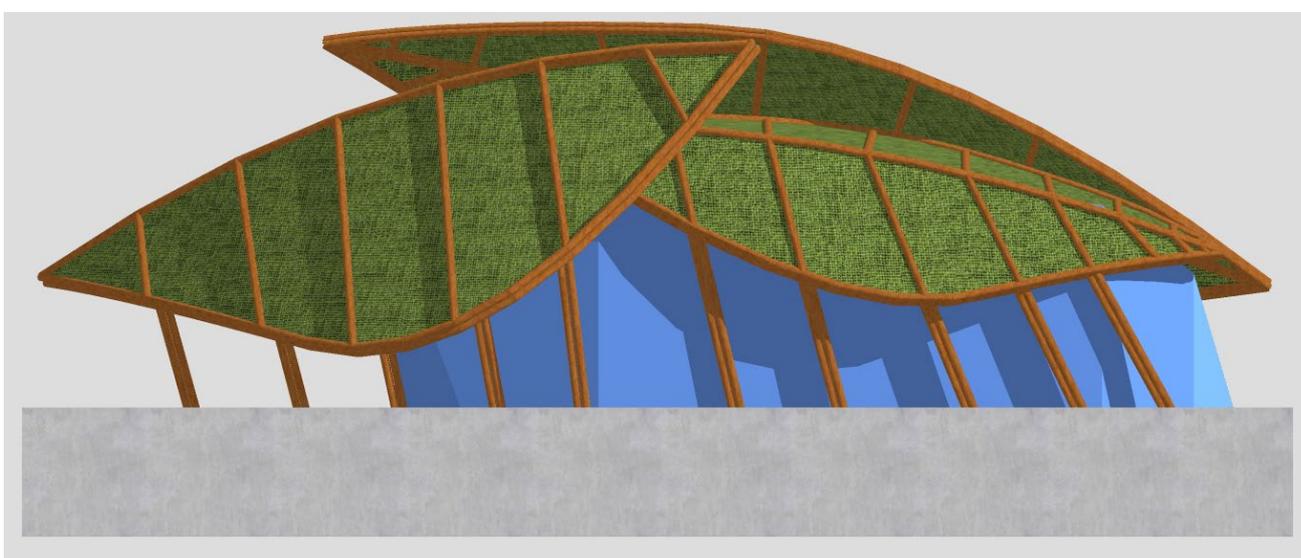
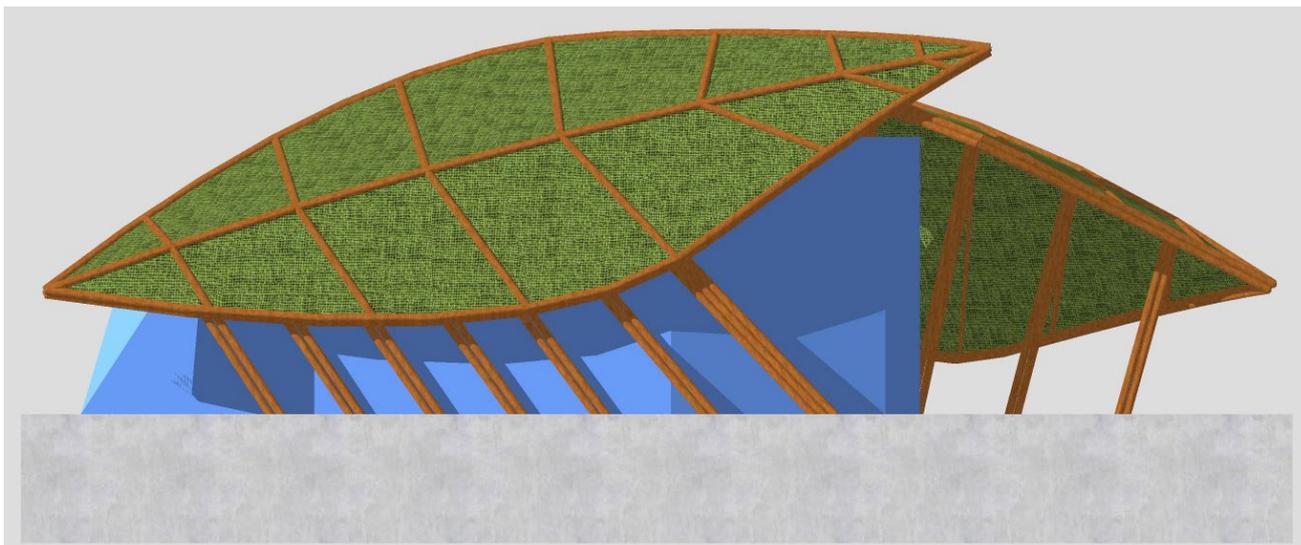


Figura 54 - Render della Struttura Completa

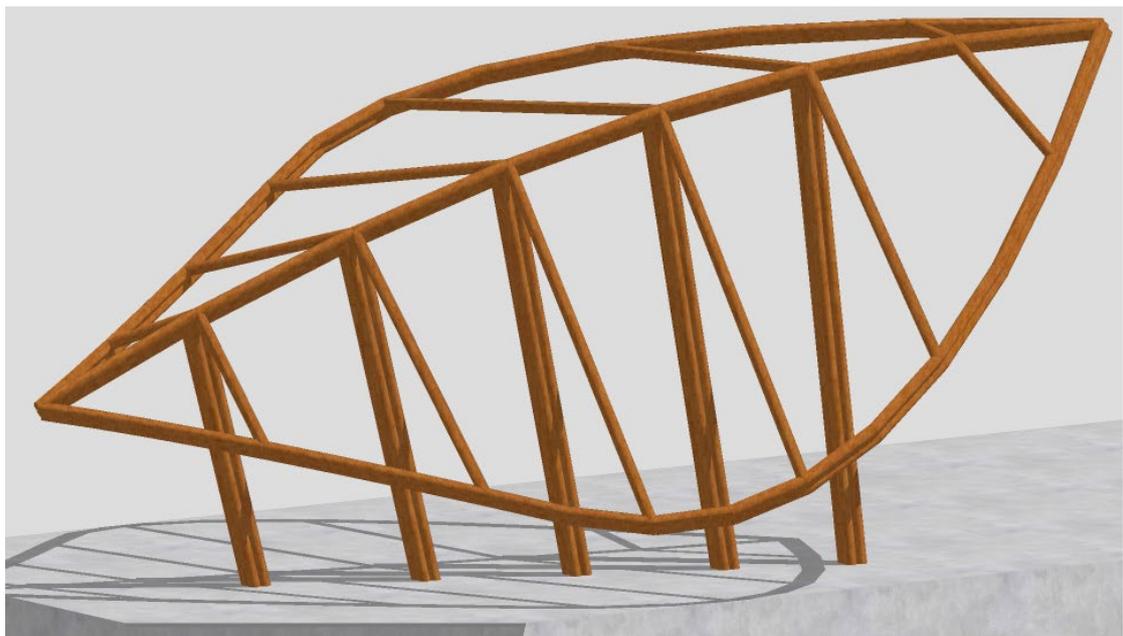


Figura 55 - Render dello Scheletro Strutturale in Bambù

9. Conclusioni

I passi necessari per la progettazione di un edificio illustrati in questo lavoro di tesi hanno evidenziato molteplici aspetti interessanti riguardo le costruzioni in bambù e le possibilità future di impiego di questo materiale. Infatti, come già sottolineato nei capitoli precedenti, ci si trova davanti ad una normativa certamente implementabile attraverso la sperimentazione e le esperienze progettuali. Una ulteriore problematica è stata riscontrata nella mancanza di dati di riferimento, infatti, è stato necessario effettuare delle ipotesi importanti a livello di proprietà meccaniche dei materiali nel capitolo 3, soprattutto nell'ambito della resistenza a taglio ed il relativo modulo elastico.

In aggiunta, un problema che le costruzioni in bambù portano con sé è la coesistenza di più culmi di bambù nello stesso elemento strutturale. Come si vede nel progetto strutturale del padiglione si arriva a 4 aste in un singolo pilastro, queste devono collaborare tra loro per resistere alle sollecitazioni da carico e per fare ciò è necessario un grosso lavoro a livello di connessioni. Si prevede infatti l'utilizzo di materiali di riempimento e di elementi in acciaio che faranno da perno proprio per questa finalità.

Inoltre, è evidente dai calcoli come la tipologia di sollecitazione più problematica per gli elementi in bambù sia la pressoflessione che, nonostante abbia valori già elevati, può essere incrementata a causa degli assi non sempre rettilinei dei culmi in bambù nella realtà, a differenza dell'idealizzazione progettuale.

Risulta necessario comunque trarre delle conclusioni sul lavoro svolto anche dal punto di vista strettamente architettonico, che si è dimostrato una sfida interessante da affrontare "in coabitazione" con l'ambito del calcolo strutturale. Infatti, la partecipazione ad un concorso come il BAC2021 ha non solo dato la possibilità di affrontare la progettazione mediante un nuovo materiale da costruzione come il bambù ma, anche se in parte minore, ha aperto una finestra verso il mondo della progettazione architettonica. Per produrre infatti un lavoro interessante è stato necessario imparare a confrontarsi con un ambito differente da quello che un progettista strutturale è solito affrontare, ed acquisire una certa sensibilità artistica e comunicativa nonché la dimestichezza con le basi di composizione e progettazione architettonica. Inoltre, è stato necessario confrontarsi con il giudizio di una commissione composta da architetti professionisti di chiara fama, e questa esperienza ha dato una migliore comprensione del rapporto che esiste tra progettista e committenza.

Concludendo, è possibile intravedere da questo lavoro le grandi potenzialità in ambito strutturale del bambù, che si candida ad essere il "materiale del futuro" grazie alle sue proprietà meccaniche ed alla sua sostenibilità. Non meno importante è la proprietà dei culmi di essere curvati creando strutture di

interesse architettonico non indifferente. Il futuro di questo materiale sembra dunque segnato, ed in definitiva sarà necessario supportarne l'impiego tramite acquisizione di dati sempre maggiore e l'implementazione della normativa ISO esistente per permetterne l'accettazione completa da parte del mondo dell'edilizia.

In ultimo si sottolinea come siano state vagliate numerose idee di modifica strutturale, per tentare di rendere possibile la realizzazione del padiglione con il bambù Moso coltivato in Italia, altrimenti impraticabile. Infatti, utilizzando il bambù autoctono italiano "Moso" si dovrebbe ricorrere ad un numero di culmi troppo elevato da gestire in termini sia di spazature che di connessioni. Un'altra opzione avrebbe potuto essere la modifica a livello strutturale delle coperture stesse, rendendole collaboranti oppure utilizzando elementi strutturali di rinforzo. Si è deciso comunque di non perpetuare questa possibilità per non perdere il significato architettonico di "foglie trasportate nel vento" alla struttura la leggerezza conferitale in questo modo.

10. Bibliografia

1. NTC 2018, Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”.
2. ISO/DIS 22156, “Bamboo — Structural design”, 2020.
3. CNR-DT 207/2008, “Istruzioni per la valutazione delle azioni e degli effetti del vento sulle costruzioni”;
4. BS ISO 19624:2018, “Bamboo structures — Grading of bamboo culms — Basic principles and procedures”;
5. and procedures”;
6. ISO/DIS 12122-1, “Timber structures — Determination of Characteristic values — Part 1”.
7. UNI EN 1995-1-1, “Progettazione delle strutture di legno, Parte 1-1: Regole generali - Regole comuni e regole per gli edifici”.
8. Guidelines on the Design and Construction of Bamboo Scaffolds.
9. NSR-10; cap. 12, “Norma de sismoresistencia, estructuras de Guadua”.
10. M. C. Laverde, “il Bambù come materiale da costruzione”, Napoli: Esselibri, 2008.
11. L. Molari, “Il bambù italiano come materiale da costruzione”, DICAM Università di Bologna.
12. Giovanni Donini, “Progettazione strutturale di un’abitazione in bambù italiano: Rivisitazione di una piccola costruzione realizzata in Costa Rica con bambù tropicale”, Università di Bologna , 2020.
13. Michela Denittis, “Analisi sperimentale e numerica di un telaio in Guadua Angustifolia Kunth caricato orizzontalmente: il bambù come possibile alternativa ecosostenibile ai tradizionali materiali da costruzione.” Università di Bologna , 2018
14. Vittoria Francesca Parrella, “Retrofit Strutturale ed Energetico Sostenibile Mediante lo sviluppo di sistemi reticolari ibridi acciaio-bambù” , Università di Bologna, 2020.
15. Kaminski, S. , Lawrence, A. and Trujillo, D., “Structural use of bamboo.” , Coventry University, 2016.
16. Kaminski, S. (2013) “Engineered Bamboo Houses for Low-Income Communities in Latin America. The Structural Engineer”, October 2013.
17. Joao Victor Correia de Melo, José Luiz Mendes Ripper, Luís Eustáquio Moreira, Lucas Ripper “The LILD and the self-supporting structures of bamboo for textile architecture”, ARQ,2014.
18. Juan Carlos Camargo García, Juan David Suarez Franco, “Compression Resistance and Shear Strength of Guadua Angustifolia”, Colombia Forestal Vol. 17(1) / enero - junio, 2014.
19. Banda, Mabely y Salas, Eduardo, “El sistema constructivo del Pabellón Zeri” asignatura reflexión, crítica y propuestas sobre las técnicas constructivas”, Universidad Politécnica de Cataluña UPC, 2001.