POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale

in Architettura per il Progetto Sostenibile

Tesi di Laurea Magistrale

Metodologia BIM 4D per la progettazione di un padiglione temporaneo in legno a Melbourne

Relatore
prof. Guido Callegari

Correlatori
prof.ssa Marianna Nigra
prof.ssa Anna Osello

Candidati
Alessia Lasalvia
Karen Menzio

Anno Accademico 2019/2020

INDICE

1. Introduzione 5
1.1. Il padiglione come piattaforma per il cambiamento 9
1.1.1. Il padiglione in ambito di ricerca didattica e formativa 11
1.1.2. Analisi dei padiglioni in legno 13
1.2. Nuove metodologie di progettazione 42
1.2.1. Definizione di BIM 44
1.2.2. Stato dell'arte 49
1.2.3. Bim for project management 52
1.3. I sistemi costruttivi 54
1.4. Innovazione del legno ingegnerizzato 60
2. Proposta progettuale 77
2.1. The Naomi Milgrom Foundation 79
2.1.1. Gli MPavilions 83
2.2. La nostra esperienza a Melbourne 96
2.2.1. Sopralluogo 107
2.2.2. Collaborazione 113
2.3. Il progetto 114
2.3.1. Strategie e scelte progettuali 116
2.3.2. Elaborati grafici 119
2.3.3. I materiali utilizzati 125
2.4. Gestione del cantiere 128
3. Metodologia 131
3.1. Work – flow 132
3.2. Metodologia operativa 134

3.2.1. BIM Tools 135
3.3. Il modello parametrico architettonico 135
3.3.1. Criteri di modellazione 136
3.3.2. Elementi del progetto architettonico 136
3.3.3. Verifica strutturale 138
3.4. La quarta dimensione del BIM 141
3.4.1. Redazione della WBS 142
3.4.2. Stesura codice interoperabile 144
3.4.3. Tempistica delle lavorazioni 146
3.4.4. Il diagramma di Gantt 148
3.4.5. Realizzazione del modello 4D 150
4. Risultati 155
4.1. La simulazione 156
5. Conclusioni 161
6. Bibliografia 165
Sitografia 167
Ringraziamenti 171

1. INTRODUZIONE

La nostra tesi si inserisce nell'ambito della ricerca sulle nuove tecnologie in legno.

Il legno come materiale da costruzione si propone come alternativa sempre più diffusa in risposta ai cambiamenti climatici e al bisogno di nuove soluzioni sostenibili per l'industria delle costruzioni.

L'indagine teorica ha evidenziato i Paesi globalmente più avanzati sulla progettazione in legno. Parallelamente alla ricerca sul materiale, essi testimoniano una nuova concezione del vivere collettivo, legata alla temporalità. Dunque, l'oggetto di interesse della tesi si è gradualmente delineato nell'esamina delle strutture *temporanee* in legno: i padiglioni. Poi, abbiamo identificato due campi di ricerca: i padiglioni risultanti dai percorsi formativi nelle diverse università e quelli progettati da architetti affermati per eventi culturali specifici. Si evidenzia il crescente evolversi di attività come "Workshop" all'interno delle università per permettere agli studenti di collaborare con diverse discipline e approfondire il progetto fino alla fase di realizzazione.

In seguito, sono stati classificati tredici casi studio di padiglioni sia formativi che ad opera di singoli, i quali sono stati analizzati dal punto di vista costruttivo. Dall'analisi è emerso che, nonostante la diversità degli attori coinvolti, sono state utilizzate sempre componenti ingegnerizzate in legno.

La nostra attenzione si è indirizzata quindi verso la nascita di nuovi sistemi costruttivi negli ultimi dieci anni a livello globale. In tal senso, è emerso in maniera rilevante l'impegno ad opera di figure professionali ed educative nel contesto australiano. Infatti, in Australia in particolare modo, la formazione universitaria spinge verso la scoperta di nuove possibilità del vivere comunitario, mediante padiglioni ed eventi aggregativi nelle città più importanti. Si è analizzata in maniera approfondita l'iniziativa commissionata dall'associazione Naomi Milgrom Foundation, facente parte del concorso privato MPavilion. Essa prevede la costruzione di un padiglione temporaneo, della durata di quattro mesi, ogni anno dal 2014 al 2020.

Ci è apparso essenziale a questo punto continuare l'indagine in loco. Grazie al confronto diretto con taluni professionisti autoctoni del settore, abbiamo individuato le criticità del concorso sopracitato, i quali sono poi divenuti il punto di partenza per la nostra

elaborazione progettuale. Per quel che concerne il progetto, è stato concepito un padiglione in legno, mediante l'utilizzo della metodologia BIM.

Essa ci ha permesso di modellare gli oggetti con caratteristiche intelligenti, che hanno consentito di avere un controllo totalitario nella gestione dei dati nei diversi campi. Il punto chiave dell'utilizzo di BIM è proprio quello di incrementare la flessibilità di pianificazione, sia tra diversi operatori sia nel modello stesso. Il processo ha quindi la potenzialità di velocizzare e al tempo stesso rendere più efficiente l'intera progettazione di una struttura.

Durante tale ultima fase elaborativa, una problematica riscontrata in ambito BIM è stata la mancanza di specifiche tecnologiche, a differenza per esempio dell'acciaio e del calcestruzzo. Il processo di costruzione di strutture in legno presenta ancora un'inefficienza in temi di management e di utilizzo di risorse[1].

A partire dall'indagine sulla costruzione temporanee, abbiamo approfondito l'aspetto temporale anche nella fase progettuale, mediante la metodologia BIM. La quarta dimensione, ovvero la gestione del cantiere e del tempo, risulta essenziale per la realizzazione dei padiglioni. L'obiettivo che ci siamo poste è come velocizzare i tempi di esecuzione del progetto.

A tal fine, la struttura è stata composta in componenti prefabbricate ed assemblate a secco in cantiere.

La nostra proposta progettuale si pone come consecuzione logica del concorso MPavilion, in un'ottica di promozione delle strutture temporanee come elemento regolare di sviluppo dell'urbanità della società moderna.

---

[1] T. H. Antti Ruuska, «Efficiency in the delivery of multi-story timber buildings,» *Energy Procedia,* vol. 96, pp. 190-201, 2016.

1.1. IL PADIGLIONE COME PIATTAFORMA PER IL CAMBIAMENTO

Lo studio dei padiglioni si focalizza su una nuova relazione tra l'architettura e la modalità con cui le persone si incontrano, si connettono e "condividono", utilizzando reti estese attraverso i social media e la connettività digitale. Questo si amplifica e si sviluppa di fronte all'emergere di forme fisiche apparentemente nuove che si estendono al di fuori di un'antica serie di strutture temporanee.

Forse, se si guarda nella piena consapevolezza di come sono i padiglioni, possono essere utilizzati come "piattaforme per il cambiamento", motori di scopo sociale. È anche la speranza

di curatori e designer che cercano modi per coinvolgere le comunità nella realizzazione delle strutture.

Senza i vincoli legali ed economici delle costruzioni permanenti, le strutture temporanee offrono un'opportunità unica per gli architetti di costruire strutture di piccole dimensioni che consentono la partecipazione della comunità e l'impegno sociale. Con una richiesta di requisiti decisamente minori degli edifici adibiti all'edilizia, i progettisti vedono in questa tipologia di progetto un margine di manovra per potersi concentrare su questioni di design in modo favorevole all'innovazione. Spesso queste installazioni favoriscono percorsi più rapidi intesi dal concepimento alla sua realizzazione, anche se non lo si dimostra in tutti i casi. Tuttavia, i progetti di design leggero pongono ancora un determinato peso su domande, in particolare riguardo alla 'partecipazione della comunità' e sulla 'programmazione dell'architettura'.

Liberi da un complesso schema funzionale, le considerazioni sul progetto possono spostare l'attenzione dal programma d'uso al programma urbano, ecologico e persino politico, il modo in cui l'architettura opera nel suo contesto culturale.

I padiglioni offrono un'occasione per riflettere sull'impatto dell'architettura sulle persone e sui luoghi in tempo reale[2].

---

[2] ,. F. W. Leon van Schaik, Pavilions, Pop Ups and Parasols: The Impact of Real and Virtual Meeting on Physical Space, Londra: John Wiley & Sons Inc, 2015.

1.1.1. IL PADIGLIONE IN AMBITO DI RICERCA DIDATTICA E FORMATIVA

Negli ultimi anni il padiglione per attività temporanee è stato oggetto di ricerca e sperimentazione all'interno delle università attraverso diverse attività come i workshop studenteschi, il più delle volte formati da studenti provenienti da diversi indirizzi di studio.

La possibilità di collaborare con diverse discipline permette di ampliare le proprie conoscenze ed integrarle per ottenere un lavoro completo riguardo i diversi campi messi in considerazione. Le discipline integrate nei progetti variano dall'illuminotecnica, all'acustica, all'energetica, al design fino a quelle strutturali.

La ricerca focalizza le sue basi nella costruzione e nella realizzazione di forme complesse e forme libere con l'obiettivo quindi di creare e sperimentare nuove forme e nuove tipologie costruttive, il legno in questo caso come oggetto di studio diventa fondamentale. Oggi grazie ai nuovi strumenti digitali, a differenza dei materiali tradizionali, abbiamo un pieno controllo della modellazione e della gestione del legno, le applicazioni quindi sono decisamente amplificate ed è possibile creare nuove geometrie e sviluppare sistemi costruttivi innovativi. Intraprende un ruolo fondamentale l'ingegneria strutturale in quanto risorsa indispensabile per la ricerca del legno come materiale strutturale innovativo.

Fin da subito è comprensibile come questa tipologia costruttiva renda necessario una collaborazione fra diversi specialisti nel settore del legno per poter risolvere le problematiche che emergono lungo il corso della progettazione[3].

Un tema molto ricorrente e quasi fondamentale forse di queste esperienze formative è costituito dalla realizzazione del lavoro svolto durante l'attività didattica, si esplicita mediante l'autocostruzione della stessa struttura ideata dagli studenti o dal gruppo di lavoro. Tutto ciò è stato consentito grazie all'innovazione dei nuovi software di programmazione come quelli computazionali e parametrici che garantiscono un controllo totalitario sulla struttura e sugli elementi.

---

[3] Y., W. (2016). *Advanced Timber Structures : Architectural Designs and Digital Dimensioning*. Svizzera: Birkhauser Architecture

Lo studio del cantiere si trasforma e diventa uno scenario di sperimentazione dove la struttura viene scomposta come un puzzle e ogni elemento che la costituisce trova il suo posto tramite una codifica quasi automatizzata.

Tra gli obiettivi del processo dell'autocostruzione troviamo sicuramente l'ottimizzazione dei costi senza diminuire le performance e naturalmente avendo un controllo del tempo, il quale si traduce anch'esso in costo. Oltre ai vantaggi economici troviamo anche un riscontro positivo dal punto di vista sociale, questo processo crea infatti inclusione, conoscenza e convivenza.

Paul Loh nell'articolo *"Articulated timber ground, making pavilion as pedagogy"* ci parla di un approccio integrato all'apprendimento, svolto nell'Università di Melbourne, di design computazionale e della fabbricazione digitale attraverso la realizzazione di un padiglione partendo da uno studio di progettazione di livello Master. Si discute durante l'attività didattica come la pedagogia del fare, con particolare attenzione all'uso di prototipi digitali e fisici, stimoli il dialogo oscillante tra il problem-solving e il puzzle-making nel design digitale e la fabbricazione.

In fine possiamo affermare che la pedagogia del fare, attraverso un adeguato utilizzo di modelli fisici e digitali come strumenti di studio, aiuta a stimolare e accrescere le capacità di problem-solving e puzzle-making per il design e la fabbricazione digitale[4].

[4] Loh, P. (2015). *ARTICULATED TIMBER GROUND, MAKING PAVIL-ION AS PEDAGOGY*. Melbourne: Universiti of Melbourne

1.1.2. ANALISI DEI PADIGLIONI IN LEGNO

La scelta dei padiglioni da analizzare è stata guidata dall'intenzione di denotare gli aspetti formali e morfologici, nonché le caratteristiche costruttive e tecniche dei materiali utilizzati per la loro realizzazione. Sono stati scelti progetti a livello internazionale, i quali hanno interagito con costruttori, associazioni, enti privati o pubblici e con università, a seconda del caso, per portare a conclusione i processi realizzativi.

I casi studio selezionati sono stati delimitati dal tempo, infatti sono stati scelti padiglioni realizzati nell'ultimo decennio, sia per quanto riguarda l'innovazione dei sistemi costruttivi sia per riuscire a gestire la ricerca ed improntarla verso quelle che sono le tecnologie più recenti.

Per ampliare la visione di questo studio è stata redatta una schedatura per la descrizione e la raccolta dei dati provenienti dalle strutture selezionate. La chiave di lettura adoperata include una parte iniziale di inquadramento identificativo del progetto per comprendere la provenienza, la datazione, le dimensioni, l'ubicazione e gli autori coinvolti nell'intero processo, dal progettista alla committenza. Una seconda parte è composta dall'analisi tecnica dove si identificano i componenti, le loro lavorazioni e lo stato dell'arte. Infine, la terza parte comprende un'analisi stilistica nella quale vengono descritti i sistemi costruttivi, gli aspetti compositivi e funzionali della struttura, la tipologia di illuminazione e il trattamento delle superfici ove sia presente.

Questo lavoro ha l'obiettivo di documentare le capacità di versatilità in campo di applicazioni dei prodotti ingegnerizzati in legno e dei processi costruttivi dei progetti scelti e le modalità in cui vengono eseguiti i processi di progettazione e realizzazione.

Dati identificativi

Autore: studenti di architettura presso la scuola di Architectural Association di Londra

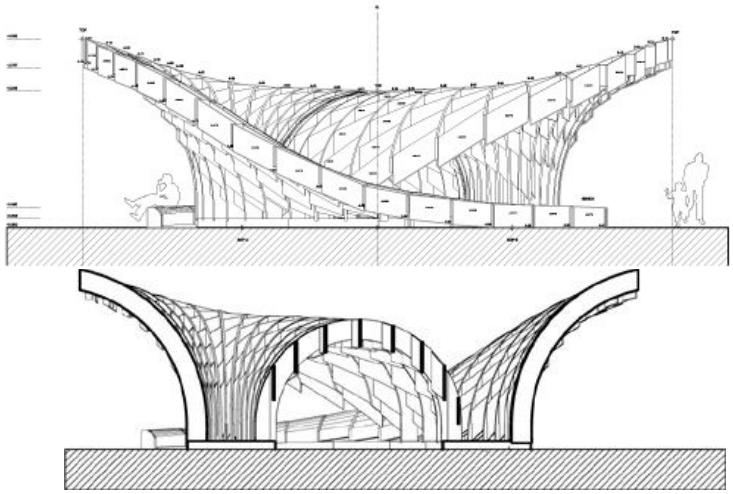
Denominazione: **Swoosh Pavilion**

Datazione: 2008

Dimensioni: 154 mq

Ubicazione: Bedford Square, London

Committenza: AA Summer Pavilion



Analisi tecnica

Tecnica e materiali: in questa morfologia è difficile individuare travi e pilastri, mentre gli attacchi a terra sono stati realizzati in acciaio con giunzioni metalliche. Le travi trasversali sono state tagliate con una macchina a controllo numerico (CNC) e ogni angolo è stato modellato a mano in base alla propria relazione con la colonna di appoggio[5].

Caratteristiche e destinazione d'uso: adibito ad un utilizzo pubblico, il padiglione crea spazi più intimi o più aperti verso l'esterno a seconda della posizione. Il sistema costruttivo in questo caso è rappresentato da un sistema ad incastri con ben 653 pezzi di legno.

La geometria del padiglione è simmetrica, al centro la struttura è costituita da otto portali che formano uno sbalzo graduale, i raggi variano da 2,2m a 3,3m di altezza[6].

[5] «DigiiTalArchFab,» [Online]. Available: http://digiitalarchfab.com.

[6] «world-architects.com Profiles of Selected Architects,» [Online]. Available: https://www.world-architects.com/.

Dati identificativi

Autore: studenti del Politecnico di Lausanne

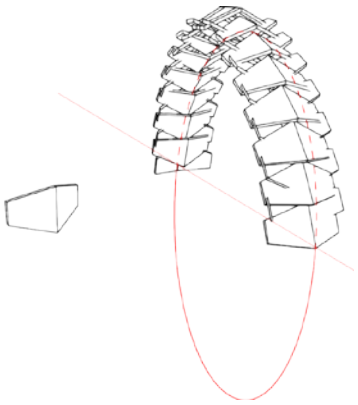
Denominazione: **Modular Timber Structure**

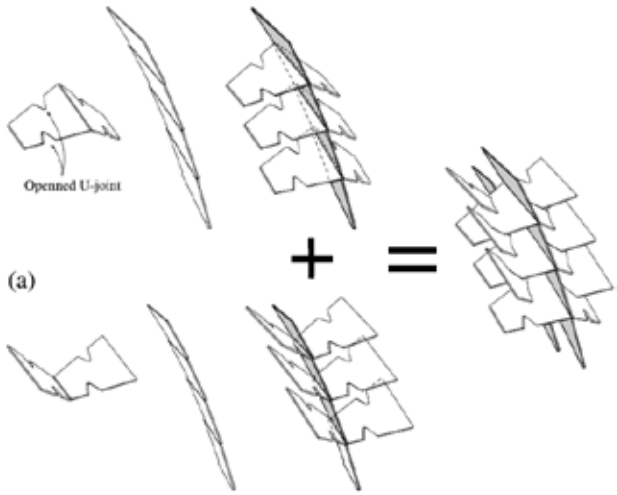
Datazione: 2009

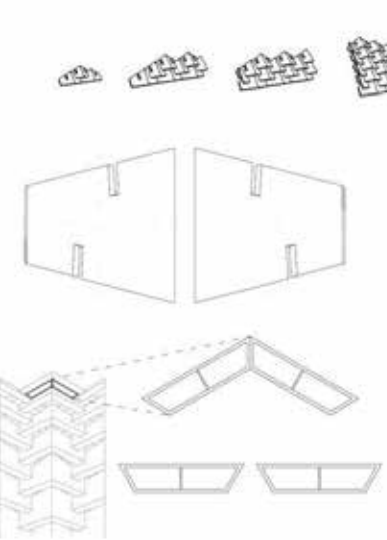
Dimensioni: --

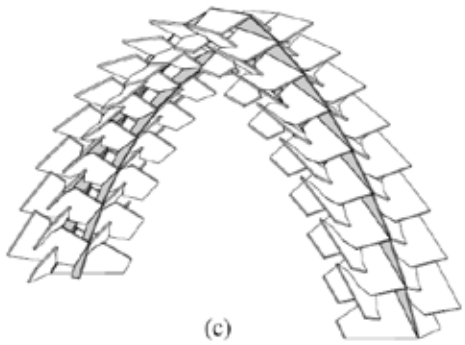
Ubicazione: EPFL, Svizzera

Committenza: Workshop “Design Studio Weinand at IBOIS-EPFL”









Analisi tecnica

Tecnica e materiali: pannelli in legno a tre strati laminati trasversali di 21 mm di spessore e tagliati con macchine CNC.

Caratteristiche e destinazione d'uso: la struttura formata da soli due pannelli i quali ricoprono i ruoli di copertura e involucro, è stato creato un modulo a V con i due pannelli specchiati e uniti, questi vengono poi fati scorrere consecutivamente per creare un arco e poi a sua volta si estende trasversalmente. È stato creato un prototipo per testare la fattibilità e per ottimizzare la funzionalità degli elementi.[7]

[7] «EPFL,» [Online]. Available: https://www.epfl.ch/labs/.

Dati identificativi

Autore: Jeanne Gang

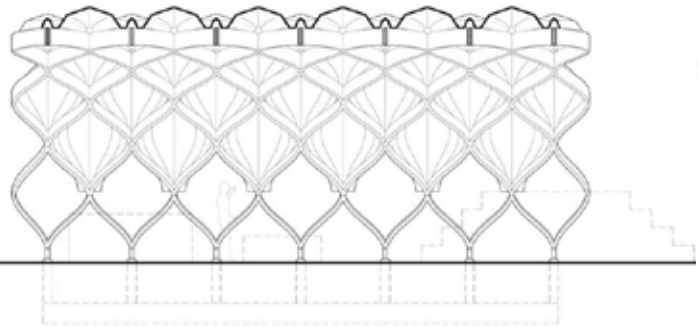
Denominazione: **Nature Boardwalk & Landscape**

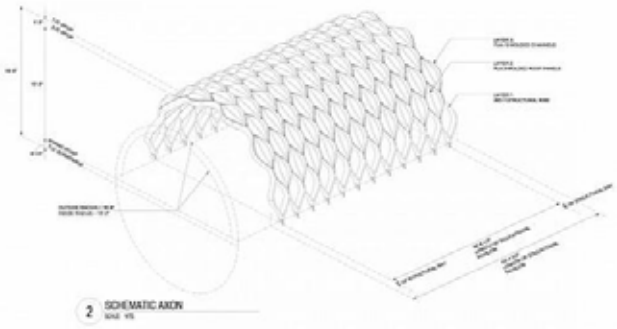
Datazione: 2010

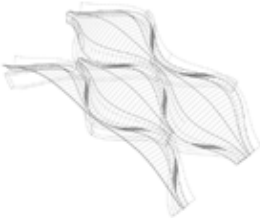
Dimensioni: 415 mq

Ubicazione: Lincoln Park Zoo, Chicago

Committenza: Lincoln Park Zoo







Analisi tecnica

Tecnica e materiali: la struttura è composta da elementi prefabbricati in legno lamellare curvati, assemblati in sede separata; grazie alla loro leggerezza sono facilmente lavorabili a mano senza bisogno di attrezzature apposite, uniti da giunzioni metalliche, le quali irrigidiscono la struttura; successivamente trasportati nel luogo del progetto.

La copertura è formata da pannelli in fibra di vetro, anch'essi curvi a formare quasi delle specie di cupole.

Caratteristiche e destinazione d'uso: la destinazione d'uso di questo padiglione è di tipo civica; trovandosi lungo la passerella che circoscrive il lago, il pubblico ha la possibilità di usufruire della struttura, effettuando delle attività all'aperto o semplicemente utilizzandolo come punto di sosta.

Il sistema costruttivo è composto da moduli ondulati ripetuti, i quali hanno fornito una continuità strutturale all'intero progetto, uniti attraverso una piastra in acciaio adatta a tutti i giunti, progettata su misura per rispondere ai requisiti torsionali dell'insieme, ogni modulo incontra nel suo punto centrale le estremità di altri due moduli.

Lo scopo dell'architetto era quello di sottolineare la flessibilità del legno senza dover aumentare la sezione degli elementi e creare dei giunti non ingombranti per la struttura per mantenere una struttura limpida.

Infine, la copertura è formata da guglie in pannelli di fibra di vetro che conferiscono una maggiore rigidità a torsione alla complessa struttura del padiglione.

Trattamento delle superfici e colore: i pannelli in fibra di vetro sono stati trattati contro l'ingiallimento e l'invecchiamento mediante un inibitore UV[8].

[8] «DigiiTalArchFab,» [Online]. Available: http://digiitalarchfab.com.

Dati identificativi

Autore: Pablo Esteban Zamorano, Nacho Martì & Jacob Bek

Denominazione: **Expandable surface**

Datazione: 2011

Dimensioni: 16 mq

Ubicazione: Cologne, Germany

Committenza: SPOGA, in collaborazione con Emergent Technologies and Design Programme at the Architectural Association.

Analisi tecnica

Tecnica e materiali: compensato di betulla

Caratteristiche e destinazione d'uso: il sistema costruttivo di questo padiglione ha dato la possibilità a queste lastre di compensato di betulla di superare le sue proprietà naturali ed i limiti donando flessibilità in determinate aree e rigidità in altre. La logica strutturale è stata determinata dalle incisioni effettuate che hanno portato ad un controllo della geometria complessiva ad un livello puntuale, inoltre hanno semplificato la logica di assemblaggio, di giunzione e di fabbricazione utilizzando un approccio low-tech. La geometria è un'attualizzazione della ricerca in corso sui "sistemi di superficie espandibili" condotta con il programma di studio Emergent Technologies and Design at the Architectural Association.

Trattamento delle superfici e colore: il compensato è stato trattato secondo le specifiche della normativa[9].

[9] «[EmTech] AA Emergent Technologies & Design Graduate Programme,» [Online]. Available: http://emtech.aaschool.ac.uk/.

Dati identificativi

Autore: Alan Dempsey

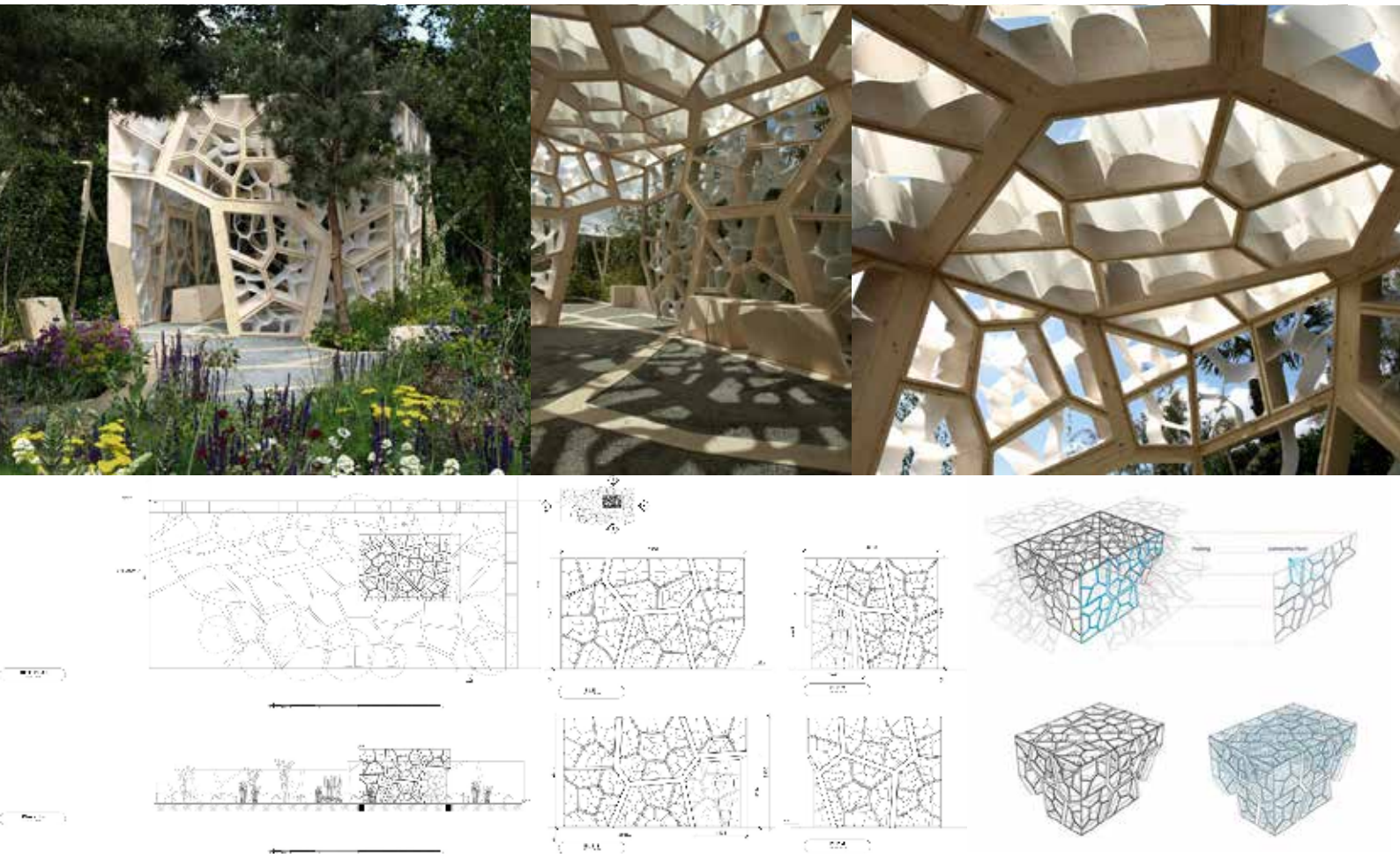
Denominazione: **Times Eureka Pavilion**

Datazione: 2011

Dimensioni: 22 mq

Ubicazione: Royal Botanic Gardens, London

Committenza: Times Newspaper, Kew Gardens



Analisi tecnica

Tecnica e materiali: compensato di abete rosso, plastica riciclata, pannelli di vetro

Caratteristiche e destinazione d'uso: il padiglione, pensato come struttura cellulare delle piante, è composto da una struttura principale, ottenuta attraverso algoritmi informatici, pensata per ospitare le cellule, tradotte in scatole, con la funzione di struttura secondaria sulle quali viene ancorato il rivestimento. Dopo il completamento del modello 3d parametrico si sono svolte analisi dettagliate per la fattibilità e per la produzione digitale delle componenti che formano l'intera struttura. Le basi su cui è stata eretta la struttura sono travi in abete rosso, i vuoti fra di esse sono stati riempiti di sabbia per dare un peso maggiore e così resistere ai carichi esercitati dal vento[10].

[10]«ArchDaily Broadcasting Architecture Worldwide,» [Online]. Available: https://www.archdaily.com/ .

Dati identificativi

Autore: studenti di Aalto University Wood Studio

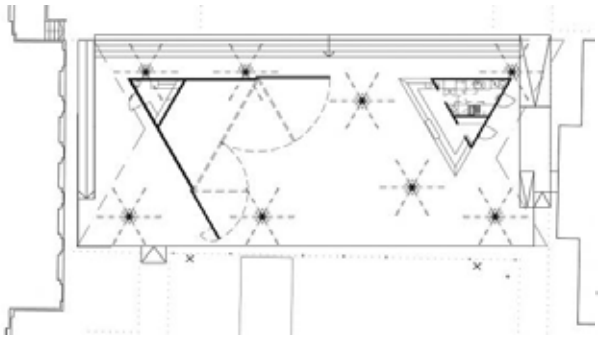
Denominazione: **Aalto University Summer Pavilion**

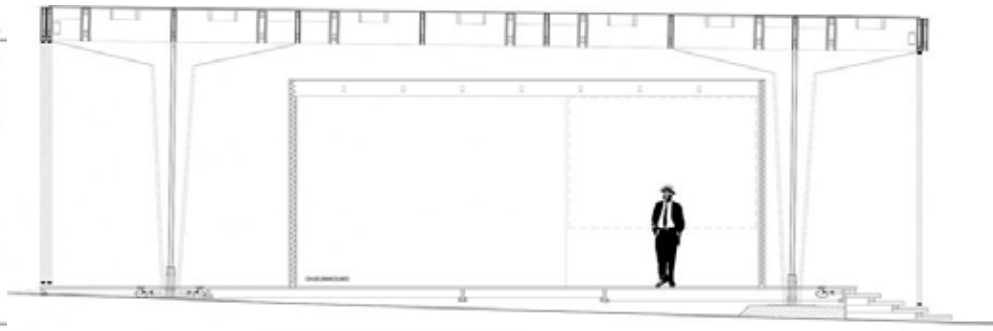
Datazione: 2012

Dimensioni: 470 mq

Ubicazione: Museum of Finnish Architecture and Design Museum, Helsinki

Committenza: World Design Capital Helsinki 2012





Analisi tecnica

Tecnica e materiali: compensato, legno strutturale, pannelli cellulari in policarbonato trasparente.

Caratteristiche e destinazione d'uso: il padiglione è stato pensato per ospitare varie funzioni ed eventi della World Design Capital Helsinki 2012. La copertura è composta da una griglia triangolare che permette, attraverso i pannelli trasparenti, di avere una luminosità interna adeguata, sorretta da pilastri aventi una struttura scatolare a sei punte che gravano su piastre in metallo. I pilastri sono formati da una struttura interna in legno strutturale e rivestita in compensato di betulla, legati fra di loro da aste su cui si sviluppa la griglia di copertura. Le fondamenta sono state realizzate con un sistema a piattaforma in legno di pino[11].

[11] «Dezeen,» [Online]. Available: https://www.dezeen.com/.

Dati identificativi

Autore: studenti di Architecture London

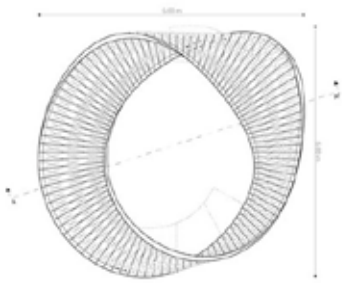
Denominazione: **Twists Pavilion**

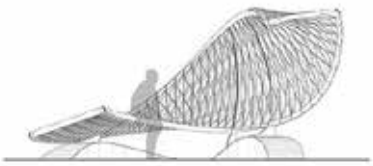
Datazione: 2015

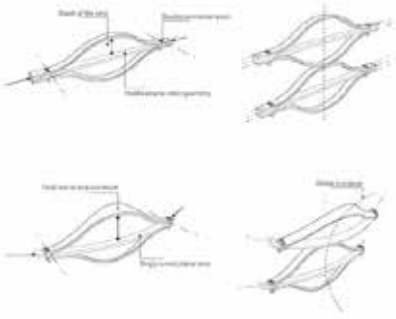
Dimensioni: 36 mq

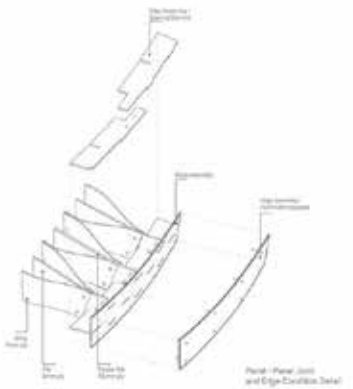
Ubicazione: Timber EXPO, Birmingham

Committenza: EmTech Architectural Associaton School, Architecture London









Analisi tecnica

Tecnica e materiali: compensato fresato, sperimentazione sulle capacità del compensato curvato.

Caratteristiche e destinazione d'uso: la struttura è composta principalmente da due elementi longitudinali in compensato. Gli elementi curvi svolgono una funzione strutturale e sono formati da fogli di compensato da 6mm, la direzione della venatura orientata è servita ad ottenere un'elevata rigidità longitudinale. I secondi sono strisce di compensato, non curvato, con la venatura perpendicolare rispetto la sua lunghezza di 4mm di spessore. Sono collegati agli elementi di nervatura ad angoli e distanze specifiche per ottenere sia la piegatura che la torsione[12]. Gli elementi linei funzionano come mezzo per attivare le proprietà fisiche intrinseche alle sottili strisce curve, caratterizzando la superficie. Il sottosistema e definito da due elementi maggiori lungo i bordi liberi della superficie articolata, questi servono a bloccare la geometria durante il processo di assemblaggio.

[12] «Iaac Institute for advanced architecture of Catalonia,» [Online]. Available: http://www.iaacblog.com/.

Dati identificativi

Autore: BudCud

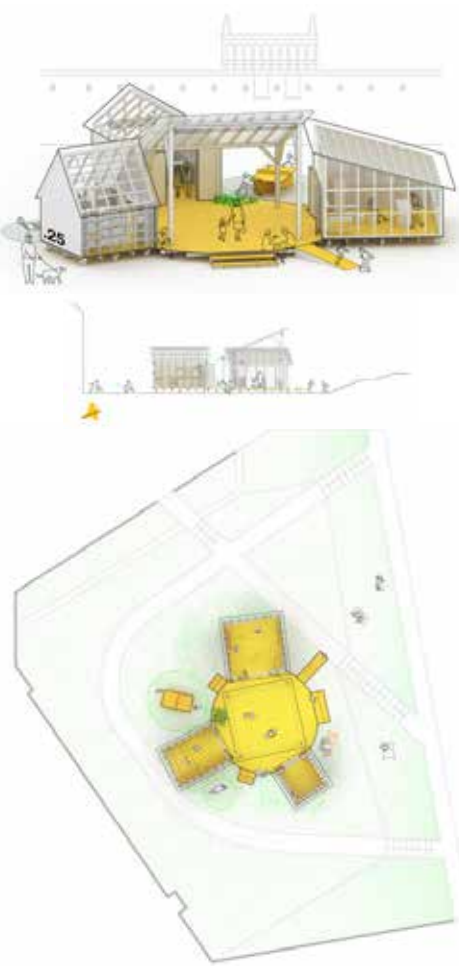
Denominazione: **Jewish Culture Festival Pavilion**

Datazione: 2015

Dimensioni: 150 mq

Ubicazione: Cracovia, Polonia

Committenza: Jewish Culture Festival



Analisi tecnica

Tecnica e materiali: legno massello, compensato e lastre di pvc trasparenti.

Caratteristiche e destinazione d'uso: con questo padiglione si celebra il 25esimo anniversario del Jewish Culture Festival, si tratta di una situazione urbana pubblica temporanea creata da molteplici volumi organizzati attorno ad una piazza centrale sopraelevata, questa può diventare palcoscenico, una pista da ballo, un'aula o un caffè. I volumi contengono all'interno una biblioteca sociale, un caffè e uno studio dove si tengono laboratori di serigrafia.

Trattamento delle superfici e colore: la pavimentazione è trattata con vernici per conferire la colorazione in giallo delle lastre[13].

[13] «ArchDaily Broadcasting Architecture Worldwide,» [Online]. Available: https://www.archdaily.com/ .

Dati identificativi

Autore: BIG

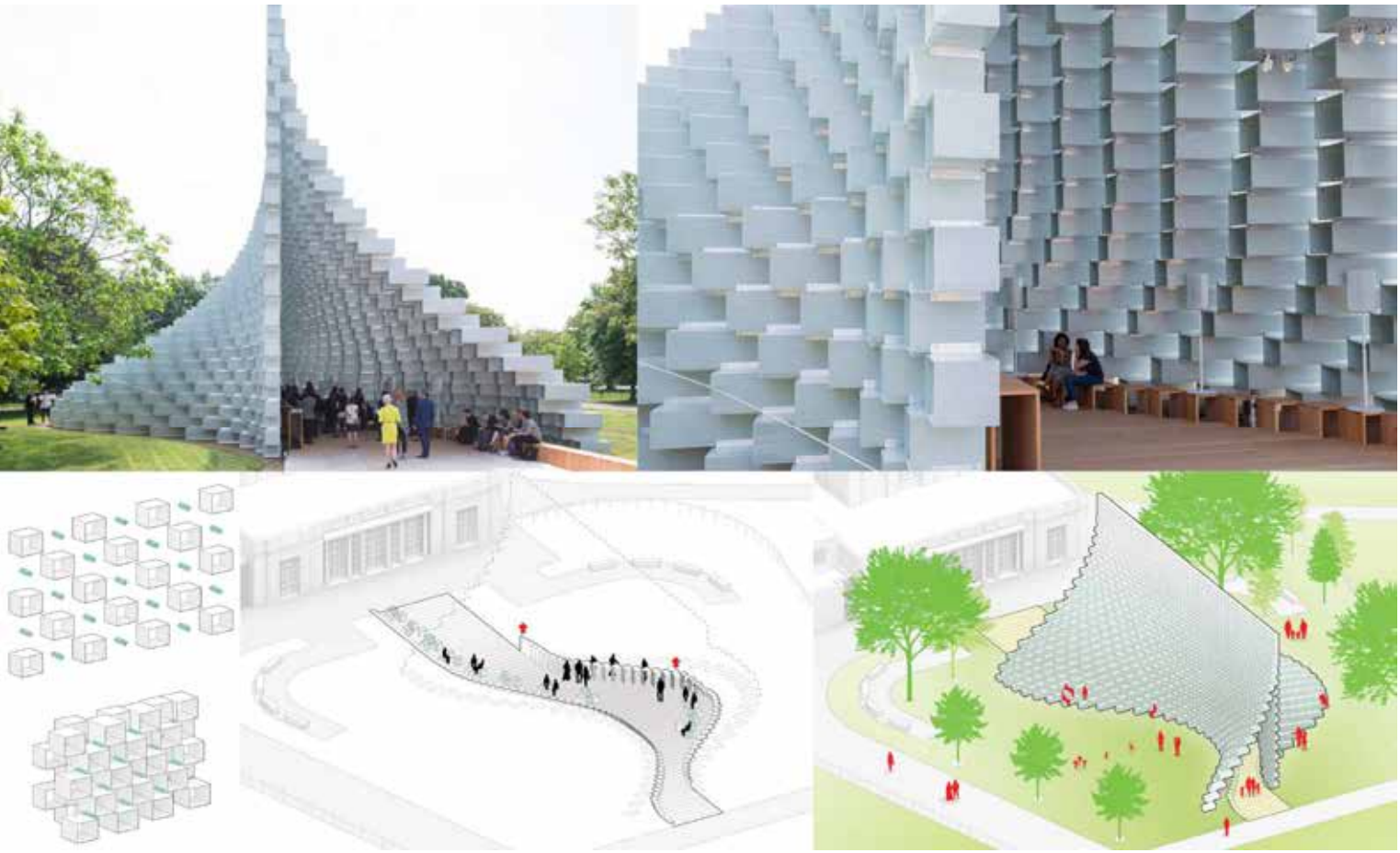
Denominazione: **Serpentine Pavilion 2016**

Datazione: 2016

Dimensioni: 300 mq

Ubicazione: oggi Vancouver (prima costruzione Londra)

Committenza: Serpentine Galleries



Analisi tecnica

Tecnica e materiali: telai in fibra di vetro estrusi, pavimento in legno

Caratteristiche e destinazione d'uso: si tratta di un muro decompresso, ovvero un muro composto da telai a forma di scatola posizionati l'uno sopra l'altro, questa parete viene poi smembrata per comporre una cavità al suo interno, dove verranno ospitati gli eventi. Da una forma lineare come quella del muro si trasforma e diventa uno ambiente complesso tridimensionale[14].

[14] «domus,» [Online]. Available: https://www.domusweb.it/.

Dati identificativi

Autore: Manuel Bouzas Cavada, Manuel Bouzas Barcala and Clara Álvarez Garcí

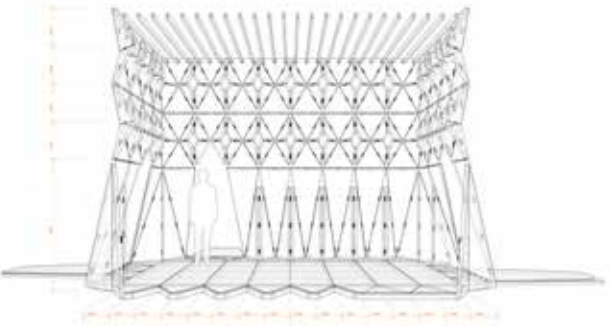
Denominazione: **Origami Exhibition**

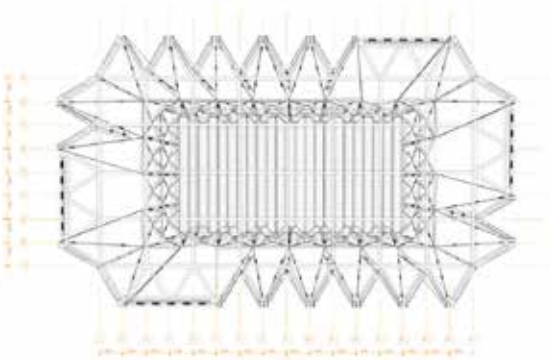
Datazione: 2017

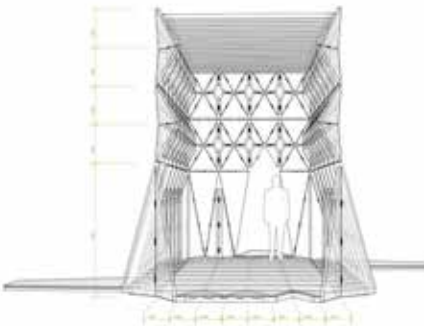
Dimensioni: 12 mq

Ubicazione: Logroño, Spagna

Committenza: Concéntrico 03







Analisi tecnica

Tecnica e materiali: pannelli di qualità in compensato, materia prima pioppo, lavorazione attraverso l'innovazione delle nuove macchine levigatrice Dmc[15].

Caratteristiche e destinazione d'uso: il padiglione viene progettato considerante la tecnica degli origami, ovvero un pannello non può sostenersi da solo ma quando è formato da una serie di pieghe con precisione ha la capacità di sostenere non solo sé stesso ma anche forze maggiori. Non sono stati utilizzati sottosistemi per un supporto strutturale, i pannelli sono uniti semplicemente con cerniere che permettono la rotazione. La sua singolare geometria permette di creare e modificare lo spazio circostante in continuazione, ogni pannello può essere aperto tramite le cerniere e permettere così una permeabilità maggiore o meno. Il padiglione non ha una copertura, ma dei semplici listelli orizzontali[16].

Trattamento delle superfici e colore: levigatura Dmc.

[15] «dis-up!,» [Online]. Available: https://www.disup.com/.

[16] «Concéntrico 06,» [Online]. Available: https://concentrico.es/en/origami/.

Dati identificativi

Autore: IF_DO

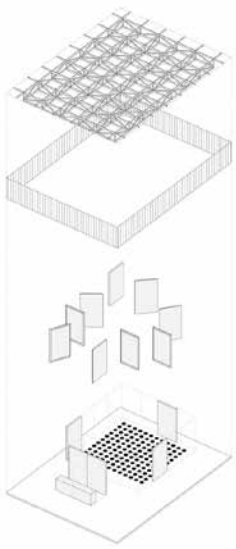
Denominazione: **Dulwich Pavilion**

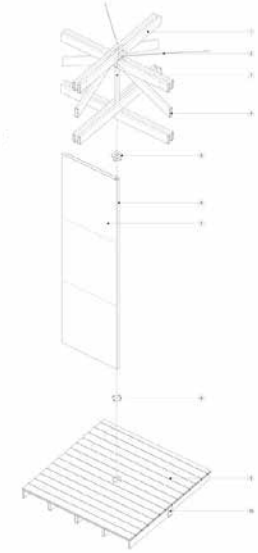
Datazione: 2017

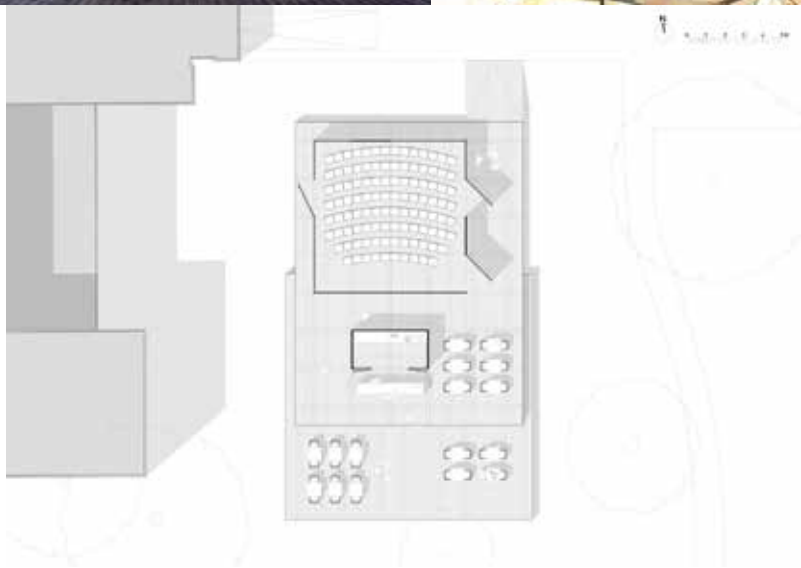
Dimensioni: 192 mq

Ubicazione: Londra

Committenza: London Festival Architecture







Analisi tecnica

Tecnica e materiali: elementi su misura in acciaio e alluminio, legno e i pannelli compositi in alluminio lucidato.

Caratteristiche e destinazione d'uso: il padiglione è formato da una copertura a capriate in legno sospesa su tre elementi a specchio molto sottili. Tutti i restanti pannelli ricoprono una funzione spaziale, ovvero sono mobili e permettono di creare diversi ambianti a seconda delle esigenze richieste. Il tetto è incorniciato da un velo di rete che crea un ambiente a baldacchino. I pannelli specchianti riflettono il contesto e lo inseriscono nel paesaggio frammentato creando nuove prospettive e sconvolgendole[17].

Trattamento delle superfici e colore: i pannelli compositi in acciaio vengono trattati in superficie per rendere quest'ultima riflettente, "specchiante"[18].

[17] «Dulwich Picture Gallery,» [Online]. Available: https://www.dulwichpicturegallery.org.uk/.

[18] «Concéntrico 06,» [Online]. Available: https://concentrico.es/en/origami/.

Dati identificativi

Autore: ICD/ITKE University of Stuttgart

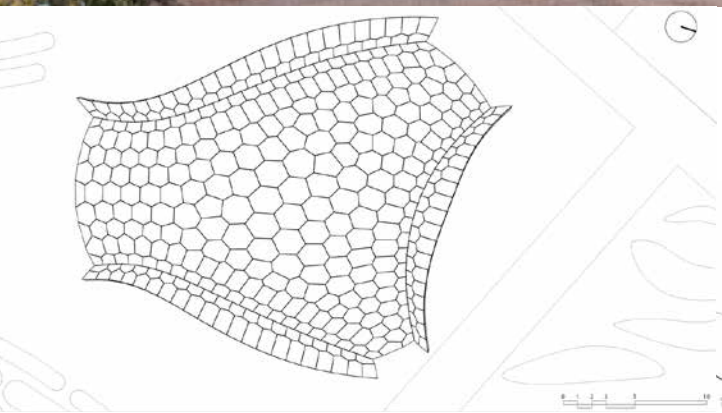
Denominazione: **Buga Wood Pavilion**

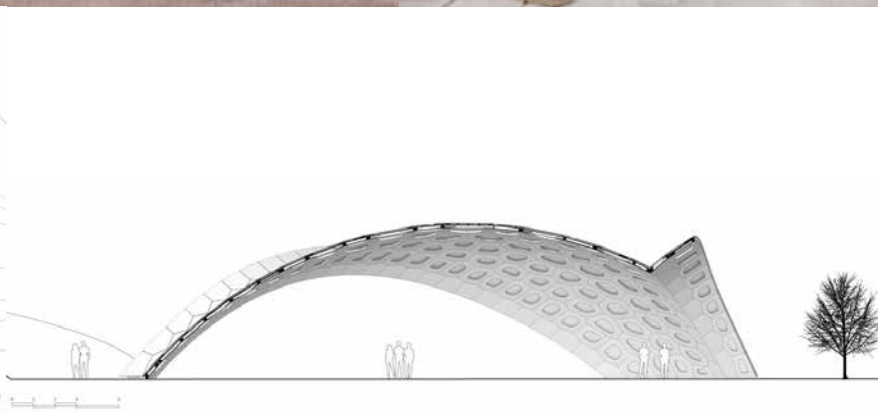
Datazione: 2019

Dimensioni: 500 mq

Ubicazione: Heilbronn, Germania

Committenza: Institute for Computational Design and Construction, University of Stuttgart





Analisi tecnica

Tecnica e materiali: legno tagliato attraverso le macchine CNC, per ottenere un risultato preciso al millimetro e garantire la perfetta giunzione tra le parti, fondamentale in questo progetto.

Caratteristiche e destinazione d'uso: Il suo guscio segmentato in legno si basa sui principi biologici che si trovano nello scheletro a piastre dei ricci di mare, è stata sviluppata una piattaforma di produzione robotizzata per l'assemblaggio e la fresatura automatizzata dei 376 segmenti di legno cavo su misura del padiglione. Questo permette che tutti i segmenti si incastrino come un puzzle tridimensionale. Sede di aventi e concerti. Il padiglione utilizza un sistema costruttivo che ha come principio "meno materiale e più forma", si sviluppa così la cassa di legno cava a forma poligonale di grandi dimensioni utilizzando sottili piastre in legno che incastrano un anello di travi di bordo, sia in alto che in basso[19].

Trattamento delle superfici e colore: superficialmente il padiglione è stato ricoperto di una pellicola epdm per garantire impermeabilità all'intera struttura[20].

[19] «University of Stuttgart Institute for Computational Design and Construction,» [Online]. Available: https://www.icd.uni-stuttgart.de/.

[20] «InfoBuild Il portale per l'edilizia e l'architettura,» [Online]. Available: https://www.infobuild.it/.

Dati identificativi

Autore: NUDES

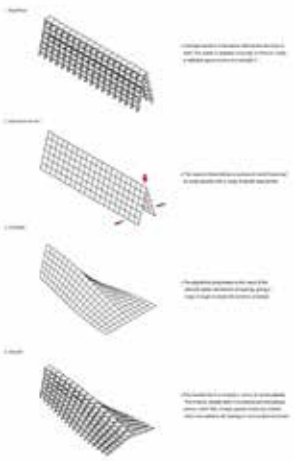
Denominazione: **Bookworm Pavilion**

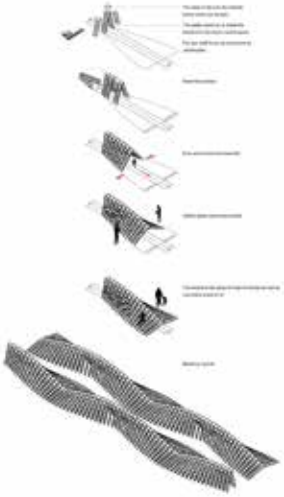
Datazione: 2019

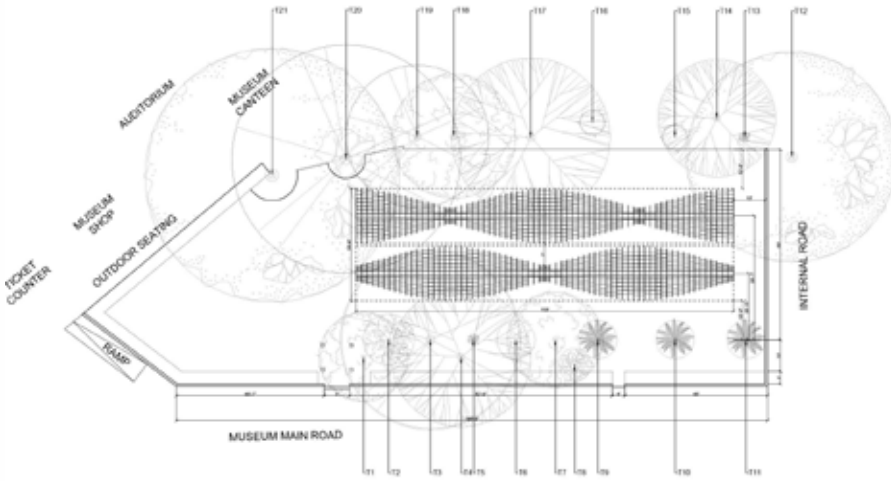
Dimensioni: 445 mq

Ubicazione: Mumbai, India

Committenza: Priyarsi Art Gallery e CSMVS Museum







Analisi tecnica

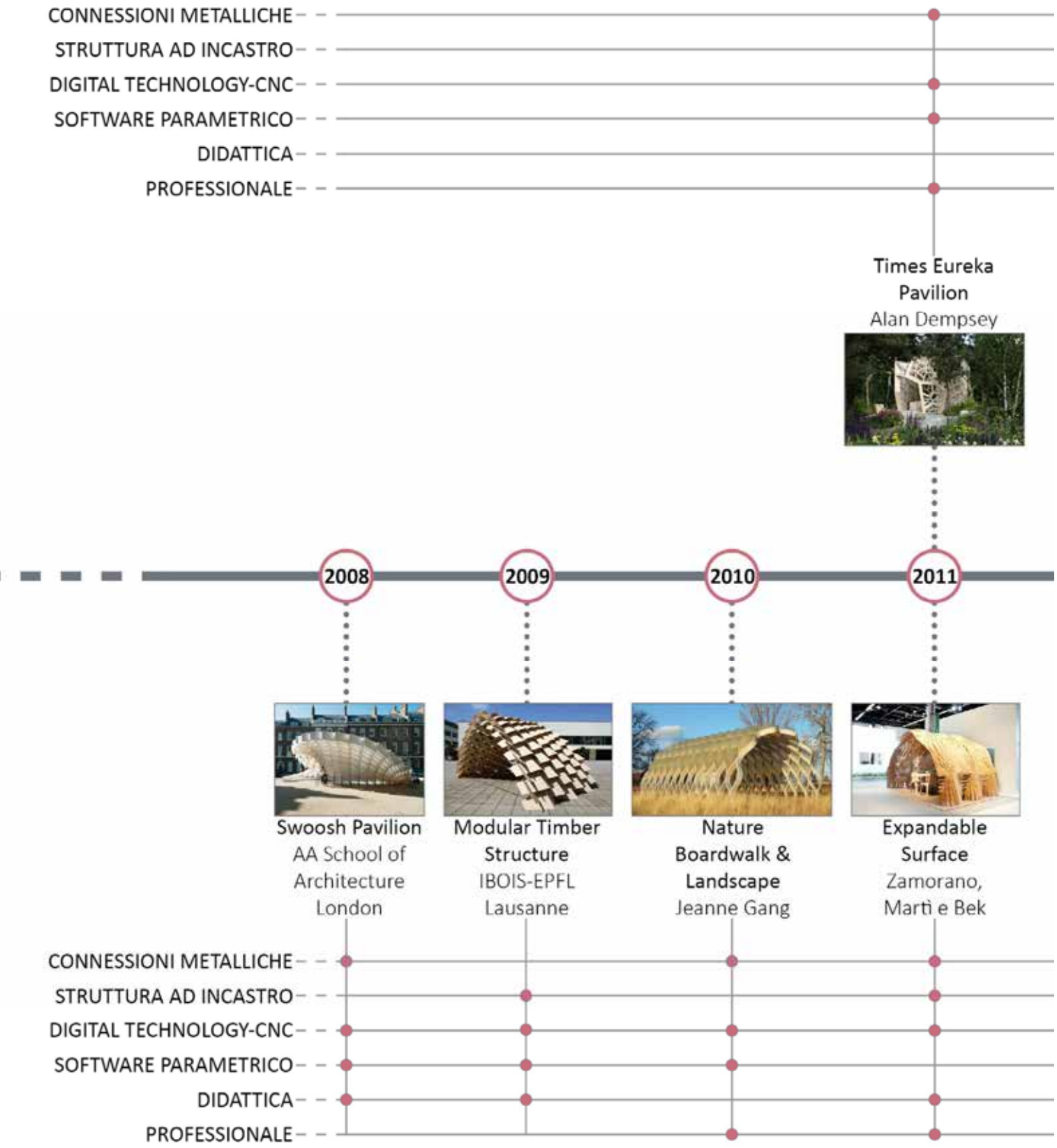
Tecnica e materiali: compensato riciclato CNC.

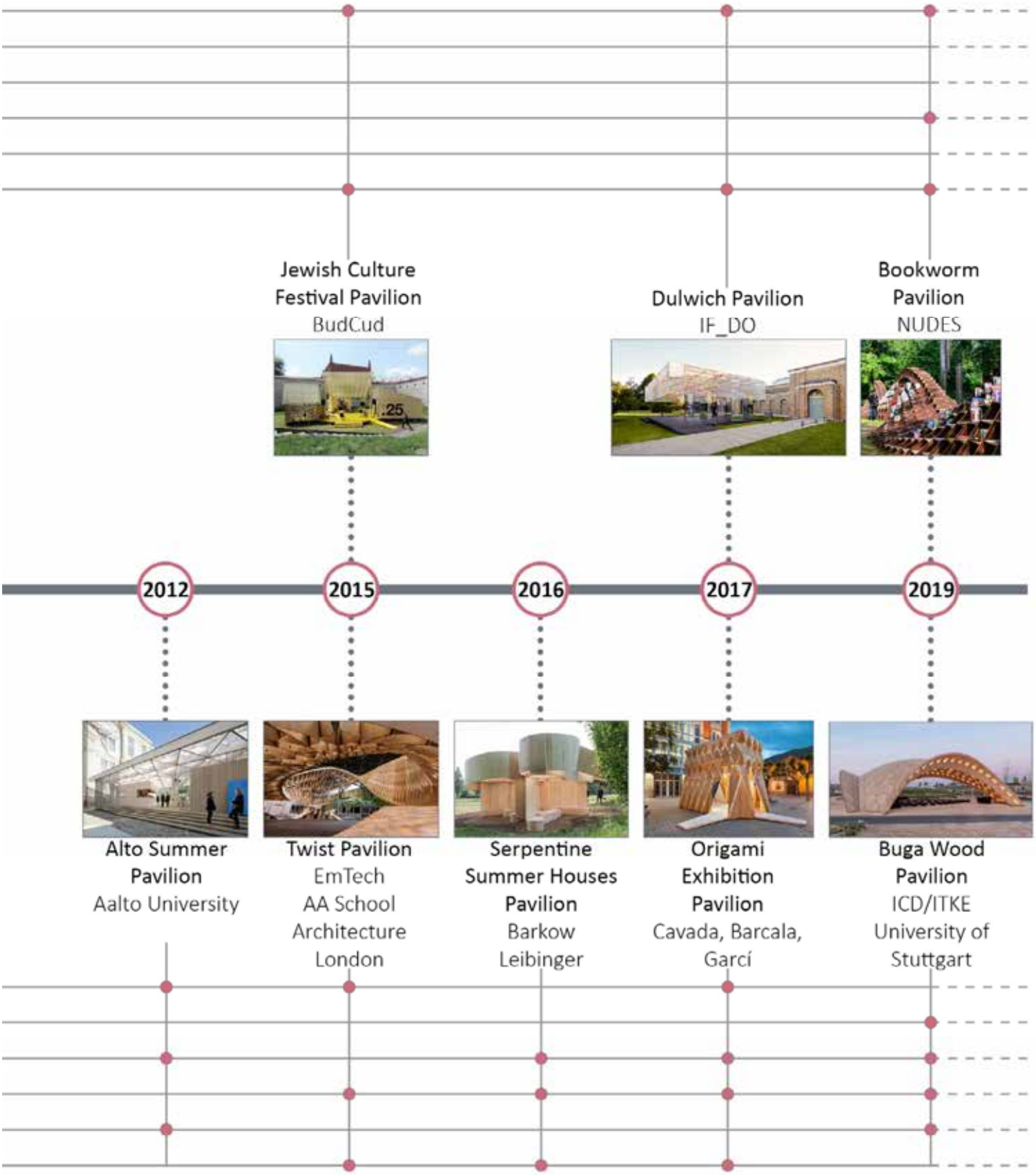
Caratteristiche e destinazione d'uso: il padiglione è stato progettato per creare uno spazio di apprendimento interattivo, l'obiettivo è quello di incoraggiare i bambini a divertirsi attraverso la lettura[21]. La struttura comprende aree dove sedersi e leggere e aree per la collocazione di libri, assume una forma bassa e tortuosa. Per la realizzazione sono stati impiegati 3600 componenti modulari prefabbricati, facilmente smontabile e trasferibile per rassembrarla in diversi siti[22].

[21] «Dezeen,» [Online]. Available: https://www.dezeen.com/.

[22] «World Architecture Community,» [Online]. Available: https://worldarchitecture.org/.

Timeline padiglioni




Jewish Culture
Festival Pavilion
BudCud
Dulwich Pavilion
IF_DO
Bookworm
Pavilion
NUDES
2012
2015
2016
2017
2019
Alto Summer
Pavilion
Aalto University
Twist Pavilion
EmTech
AA School
Architecture
London
Serpentine
Summer Houses
Pavilion
Barkow
Leibinger
Origami
Exhibition
Pavilion
Cavada, Barcala,
Garcí
Buga Wood
Pavilion
ICD/ITKE
University of
Stuttgart

1.2. NUOVE METODOLOGIE DI PROGETTAZIONE

I nuovi software e la *digital fabrication* hanno cambiato le prospettive in cui utilizziamo il legno. I materiali compositi, le tecnologie di fabbricazione automatizzata e il design parametrico sono esplosi ed evidenziano i nuovi metodi di progettazione, di produzione personalizzata e metodi di assemblaggio avanzati, dimostrando qualità progettuali flessibili e adattabili che riflettono una società in rapido cambiamento[23].

Prima di arrivare alla comprensione del *computational design* va esplicitato un primo passaggio che ha determinato e cambiato l'approccio alla progettazione, da un disegno CAD si è passati ad una tipologia di *design-thinking*. Questo passaggio sostituisce la simulazione alla semplice rappresentazione, i singoli oggetti diventano parte di un sistema sempre più integrato e complesso.

L'architetto viene chiamato quindi ad integrare le sue conoscenze con i linguaggi di programmazione. Con il termine *computational design* si racchiude una vasta serie di attività, dalla generazione di forme automatizzata alla gestione dei Big Data. Esistono una serie di prodotti sul mercato, possiamo richiamare i più conosciuti: Rhino e Revit[24].

Con modellazione parametrica si intende dare un ruolo centrale a quelli che costituiscono i dati iniziali della progettazione, i quali assumeranno il ruolo di parametri, appunto, nella configurazione geometrica di un modello tridimensionale attraverso la generazione di algoritmi. Diversamente da un modello 3D formato solo da volumetrie, la progettazione parametrica definisce una relazione fra i diversi oggetti attraverso un sistema dinamico. Infatti, la modellazione del singolo oggetto in realtà inizia proprio dall'algoritmo per raggiungere successivamente la geometria desiderata, grazie alla possibilità di variare i

---

[23] Neumann o., B. P. (2007). *Futurewood. Innovation in building design + manufacturing.* Canada: Riverside Architectural Press.

[24] https://www.dama.academy/

parametri di ogni singola funzione, la quale però sarà sempre connessa all'intero sistema[25].

> *"Attraverso la computazione di regole di progettazione, è molto facile generare centinaia, se non migliaia di opzioni, tutte valutabili sulla base di criteri specifici per determinare la soluzione migliore. Non parliamo solo di creare geometrie folli con strutture intricate. Parliamo sopratutto di assegnare dei parametri (modellazione parametrica) ad un design standard, i cui effetti immediati sono visualizzabili nell'interfaccia software. Modificando tali parametri si possono facilmente generare diverse soluzioni, che soddisfano criteri specifici. Tutto questo significa quindi ottimizzazione dei tempi.*
>
> *Design computazionale comprende anche la gestione dei Big Data. Automatizzare le operazioni ripetitive e laboriose. Lavorare con geometrie e regole matematiche estremamente complesse. Questi potenti strumenti di progettazione di calcolo possono essere utilizzati per automatizzare routine come ridenominazioni, copia e moltiplicazione di elementi. L'architetto, programmando autonomamente uno script, crea lo strumento più adatto per svolgere una determinata operazione ripetitiva ma necessaria al suo progetto. Obiettivo: lavorare meglio, non lavorare il doppio." (dama.academy, 2019)*

[25] Ciammaichella, M. (2012, 06). Tratto da Artefatti in evoluzione. La rappresentazione matematica fra design generativo e pratiche numeriche: http://disegnarecon.unibo.it

1.2.1. DEFINIZIONE DI BIM

Nei prossimi capitoli verranno introdotti alcuni concetti chiave del BIM.

Con l'acronimo BIM si intende Building Information Modeling. Nella letteratura non esiste una definizione standard, essendo stato fin dai primi anni oggetto di diverse interpretazioni.

Il National Institute of Building Sciences, definisce il BIM come

"a digital representation of physical and functional characteristics of a facility. As such it serves as a shared knowledge resource for information about a facility forming a reliable basis for decisions during its lifecycle from inception onward. A basic premise of BIM is collaboration by different stakeholders at different phases of the lifecycle of a facility to insert, extract, update, or modify information in the BIM to support and reflect the roles of that stakeholder. The BIM is a shared digital representation founded on open standards for interoperability". (Akintola Akintoye, 2012)

Traduzione: il BIM è una rappresentazione digitale delle caratteristiche fisiche e funzionali di una struttura. Come tale funge da risorsa di conoscenza condivisa per le informazioni riferite ad una costruzione che costituisce una base affidabile per le decisioni che si presentano durante il suo ciclo di vita. Una premessa di base del BIM è la collaborazione tra differenti soggetti interessati in diverse fasi del ciclo di vita che consente di inserire,

Figura 1. I vantaggi del BIM

estrarre, aggiornare o modificare le informazioni nel BIM per supportare e riflettere i ruoli degli stakeholder. Il BIM è una rappresentazione digitale condivisa fondata su standard aperti per interoperabilità.

Da questo estratto si può evincere che si tratta di un prodotto per la rappresentazione digitale, in grado di garantire lo scambio di informazioni aggregabili in un unico modello grazie all'interoperabilità tra i sistemi. Questa caratteristica semplifica e agevola la collaborazione tra i diversi professionisti che partecipano al processo edilizio. Infine, si definisce come strumento per la gestione dell'intero ciclo di vita di una costruzione, dando la possibilità di poter estrapolare e modificare le informazioni utili.

L'insieme di questi dati tecnici, scientifici ed economici dà come risultato una completa raffigurazione virtuale dell'opera, definito come modello parametrico, ottimizzando in questo modo un processo coordinato e collaborativo.

Worksharing and Datasharing

Una delle abilità essenziali del processo BIM è la condivisione di informazioni tra gli attori coinvolti, usando diverse strategie e vari formati di scambio. La capacità di supportare lo scambio di informazioni di alta qualità implica un uso corretto dei dati e della documentazione di progetto in un'ambiente altamente collaborativo. Poiché la collaborazione è, quindi, uno dei fattori chiave più importanti per l'efficienza dei processi BIM, vengono proposti due diversi metodi di condivisione dati:

- Integrated model: si focalizza sul Worksharing, ovvero su un ambito collaborativo, in cui i membri di un team possono lavorare nello stesso modello al tempo stesso. In questo caso, si ha un unico file centrale (DB centrale), a cui sono collegate le copie locali dei diversi attori, i quali arricchiscono le informazioni del modello univoco;
- Federation model: caratterizzato dal Data-sharing. Per questo tipo di approccio è necessario definire un'area di condivisione

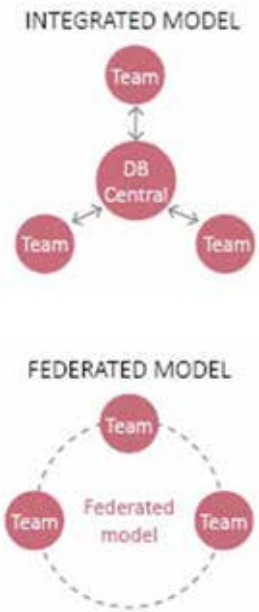


Figura 2. Schematizzazione modelli di condivisione

all'inizio del progetto, in modo tale da avere l'opportunità di controllare ogni fase del processo[26].

La necessità di standard di dettaglio

Alla base di una buona organizzazione del modello parametrico è necessaria una corretta gestione del database di informazioni relative ai diversi componenti del costruito.

Per questo motivo è utile un approfondimento per quanto riguarda il Level of development (LOD). Con questa nomenclatura si definisce una struttura di standard, elaborata dall'American Institute of Architects (AIA), con il quale viene garantita una efficienza e chiarezza nella comunicazione, sia per la definizione degli obiettivi da raggiungere, ma anche per lo svolgimento del processo BIM stesso.

Presentiamo in modo puntuale le differenze dei LOD:

- LOD 100: l'elemento può essere rappresentato graficamente nel modello tramite un simbolo o un'altra raffigurazione generica;
- LOD 200 l'elemento è rappresentato graficamente nel modello come un sistema generico, un oggetto o un assieme con quantità, dimensioni, forma e orientamento approssimativi;
- LOD 300: L'elemento è rappresentato come sistema, oggetto o assieme specifico in termini di quantità, dimensioni, forma, posizione e orientamento;
- LOD 350: l'elemento è rappresentato come sistema, oggetto o assemblaggio specifico in termini di quantità, dimensioni, forma, posizione, orientamento e interfaccia con altri sistemi di costruzione;
- LOD 400: l'elemento è rappresentato come sistema, oggetto o assieme specifico in termini di dimensioni, forma, posizione, quantità e orientamento con dettagli, fabbricazione, assemblaggio e informazioni di installazione.

[26] M. D. Giudice, Il disegno e l'ingegnere. BIM handbook for building and civil engineering student, Torino: Levrotto & Bella, 2019

- LOD 500: l'elemento è una rappresentazione verificata sul campo in termini di dimensioni, forma, posizione, quantità e orientamento. L'elemento rispoecchia fedelmente la realtà[27].

Per quanto riguarda la normativa italiana, la UNI 11337-4:2017, identifica il LOD scomponendolo in due diciture: LOG (Level of Geometry), in cui vengono raggruppate tutte le informazioni geometriche, e LOI (Level of Information), di cui fanno parte i diversi dati tecnologici, economici e giuridici. Una differenza sostanziale tra la normativa italiana rispetto allo standard americano si presenta nella differenziazione dei livelli adottando una scala alfabetica[28]:

- LOA A: geometria simbolica;
- LOD B: geometria generica;
- LOD C: geometria definita;
- LOD D: geometria dettagliata;
- LOD E: geometria specifica;
- LOD F: geometria eseguita;
- LOD G: geometria aggiornata.

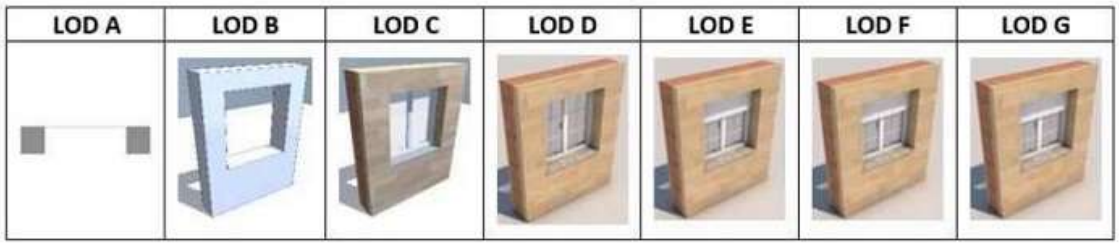


Figura 3. Esempio illustrativo dei diversi Livelli di dettaglio secondo la Normativa Italiana 11337:2017 Parte 4

[27] «Livel Of Development (LOD) Specification Part I & Commentary. For Building Information Models and Data,» Settembre 2018. [Online]. Available: https://bimforum.org/.

[28] *Norma UNI 11337-1:2017 Edilizia e opere di ingegneria civile - Gestione digitale dei processi informativi delle costruzioni.,* 2017.

Le dimensioni del BIM

Quando si parla di modello BIM, come già anticipato, non è solo un modello tridimensionale, ma bensì una raccolta di informazioni con cui si delineano diversi aspetti della costruzione.

In base alla tipologia di dati si identificano diverse dimensioni, i quali, secondo i fondamenti del BIM, vengono riconosciute 5 tipologie differenti:

- 3D: Geometria. È la dimensione più nota, in quanto raggruppa i dati grafici;
- 4D: Tempo. La quarta dimensione tiene in considerazione le attività che compongono la fase cantieristica; in questo modo si ha la possibilità di monitorare e improntare le tempistiche necessarie durante il corso della vita del progetto;
- 5D: Costi. La quinta dimensione mette in evidenza l'aspetto economico del progetto. I costi possono essere direttamente correlati ai singoli elementi presenti nel modello 3D, in modo tale da avere un'analisi economica corrispettiva alle quantità;
- 6D: Facility Management. La dimensione 6 rappresenta l'insieme delle informazioni relative al funzionamento e alla manutenzione della costruzione, quindi si concentra sulle fasi successive a quella di cantiere;
- 7D: Sostenibilità. L'ultima dimensione viene utilizzata per la valutazione energetica definita in corso d'opera della fase di progettazione; il risultato sarà una consapevolezza per quanto riguarda le prestazioni dell'edificio.

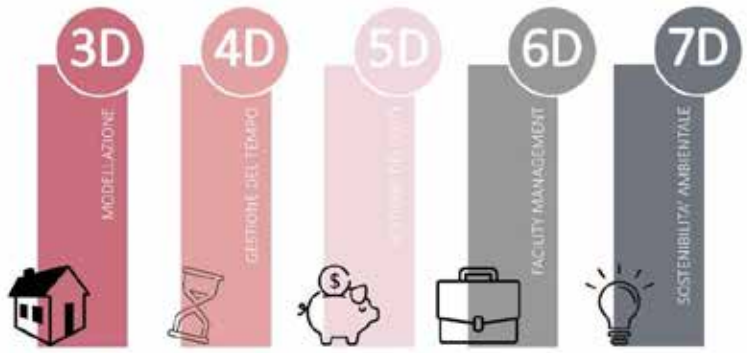


Figura 4. Le dimensioni del BIM

1.2.2. STATO DELL'ARTE

Nonostante lo sviluppo avvenuto negli ultimi anni per le costruzioni in legno esistono ancora oggi limiti nei processi di costruzione e inefficienze nell'uso delle risorse e nella gestione dei processi. Si cerca però di andare verso una riduzione dei difetti nelle diverse fasi del processo di realizzazione[29], possiamo trovare le ragioni per cui sussiste un'inefficienza nella costruzione di strutture in legno come lacune nello sviluppo e nella uniformazione dei sistemi strutturali, la poca disponibilità dei software BIM per il legno, il bisogno di maggiori approfondimenti nelle specificità per gli edifici in legno, la ridotta informazione dei professionisti per queste tipologie di costruzioni[30].

Si trovano tutt'oggi limitazioni nell'utilizzo del BIM come metodologia di progettazione e come processo di gestione dell'opera fino alla sua dismissione perché l'investimento iniziale è ancora molto alto e le aziende, soprattutto quelle di piccole e medie dimensioni, non sono disposte ad affrontare, oltre ad avere un'accessibilità maggiore ai software di disegno 2D con un impiego di risorse economiche decisamente minori[31].

L'integrazione del BIM nel processo delle costruzioni manca ancora di una definizione dettagliata, non vi sono criteri e principi chiari, e il livello di dettaglio che si necessitano in fase di costruzione sono ancora carenti.

I componenti del BIM sono incorporati nelle librerie, tuttavia necessitano di arricchimento oltre al modello 3D tramite l'inserimento di caratteristiche specifiche per

---

[29] H. J. &. J. H. Meiling, «Defects in offsite construction: timber module prefabrication,» *Construction Management and Economics,* vol. 27, n. 7, pp. 667-681, 2009.

[30] T. H. Antti Ruuska, «Efficiency in the delivery of multi-story timber buildings,» *Energy Procedia,* vol. 96, pp. 190-201, 2016.

[31] S. B. H. B. B. A. B. &. M. A.-H. Aladdin Alwisy, «A BIM-based automation of design and drafting for manufacturing of wood panels for modular residential buildings,» *International Journal of Construction Management,* pp. 187-205, 2019.

il materiale legnoso ed il conseguente processo di produzione che lo elevino ad un'interoperabilità e qualità maggiori[32].

Siccome il mercato del legno risulta non essere compatto molte aziende hanno soluzioni di tipo "chiuso", ovvero non aiutano allo sviluppo e all'arricchimento che ne richiede il BIM per ottimizzare le soluzioni di interscambiabilità. Proprio per questo motivo non si riescono a raggiungere gli obiettivi e le potenzialità che il BIM può offrire.

Rimane ancora in discussione, se sia conveniente condurre le verifiche strutturali all'interno dell'ambiente BIM delle connessioni oppure, attraverso i vari software specialistici, sia più conveniente aumentare l'interoperabilità tra le diverse piattaforme. Il principale problema che si riscontra intraprendendo questa strada è che si riscontrano diversità nella produzione dei diversi componenti in legno a seconda del produttore, sono loro che spesso offrono software per la verifica strutturale di cui sono proprietari.

Fino a quando i software rimarranno legati alle case produttrici difficile sarà conquistare l'aspettativa di innovazione tecnologica e flessibilità[33].

A livello riassuntivo esplicitiamo le potenzialità e i vantaggi dell'utilizzo del BIM per la costruzione di strutture in legno:

- componenti parametrici;
- comportamento intelligente, capacità di relazionare tra oggetti;
- creazione di nuove librerie, componenti con informazioni decisamente maggiori rispetto alle librerie di modelli CAD;
- possibilità di computare quantità e materiali dal modello 3D;
- creazione e visualizzazioni delle fasi costruttive;
- integrazione con software di gestione del progetto;
- possibilità di analisi strutturali, attraverso tools, di approssimazione.

---

[32] E. Rodella, *Il BIM per le strutture in legno prefabbricate: interoperabilità tra modellazione, analisi strutturale e produzione industriale,* Padova: Università degli Studi di Padova, 2018.

[33] S. B. H. B. B. A. B. &. M. A.-H. Aladdin Alwisy, «A BIM-based automation of design and drafting for manufacturing of wood panels for modular residential buildings,» *International Journal of Construction Management,* pp. 187-205, 2019.

Per ottimizzare i vantaggi apportati dall'utilizzo di un sistema come BIM è essenziale comprendere come implementare i database dei singoli componenti in modo efficiente e veloce, oltre che dare linee guide alle imprese per interrompere il sistema di informazioni "chiuso".

Per bloccare questa mancanza di scambio di informazioni ed azionare l'innovazione in questo settore bisognerebbe:

- redigere uno standard per le imprese, seguito da linee guida;
- creare librerie con componenti editabili;
- creare materiale formativo specificamente per il ramo delle costruzioni in legno[34].

[34] E. Rodella, *Il BIM per le strutture in legno prefabbricate: interoperabilità tra modellazione, analisi strutturale e produzione industriale,* Padova: Università degli Studi di Padova, 2018.

1.2.3. BIM FOR PROJECT MANAGEMENT

"Il Project Management è un processo dinamico che utilizza in maniera controllata e strutturata tutte le risorse appropriate dell'organizzazione per conseguire obiettivi chiaramente definiti e riferiti a bisogni strategici dell'organizzazione stessa". (Young, 2009)

Partendo dalla definizione, possiamo notare come questo sia un processo, ovvero una sequenza di fasi operative che devono essere delineate in modo tale da raggiungere gli obiettivi finali, mettendo in ordine risorse e soggetti che devono entrare in campo.

Per questo motivo il BIM gioca un ruolo fondamentale all'interno dell'industria delle costruzioni: esso si presenta come strumento per unificare tutte le informazioni utili per un'ottimizzazione del processo edilizio e gestione dei dati tecnici ed economici.

L'inserimento del processo BIM all'interno delle costruzioni edili è favorito dalla potenzialità di questi nuovi software, definita interoperabilità, il quale permette di implementare il modello tridimensionale (3D) con informazioni legate alla dimensione tempo (4D) e costo (5D).

La pianificazione ha come punto di partenza una scomposizione del processo in singole unità; si definisce, così, un componente fondamentale del Project Management: il Work Breakdown Structure (WBS). Con la struttura WBS, si suddivide il processo costruttivo in macro-fasi o in sistemi di unità tecnologiche, che insieme contribuiscono al raggiungimento dello scopo predefinito.

Di conseguenza verranno definite le successioni logiche tra le varie attività, definendo nello stesso momento anche la durata, per avere un monitoraggio preventivo della fase

di cantiere e una limitazione di errori successivi. Un altro passaggio fondamentale è la determinazione del budget utile per la realizzazione della costruzione[35].

[35] M. A. Bragadin, *La programmazione dei lavori con i metodi reticolari. Metodi e strumenti di project management* per la costruzione, Maggioli Editore, 2011.

1.3.I SISTEMI COSTRUTTIVI

"Lo sviluppo della progettazione assistita da computer è stato fortemente influenzato dai progressi della matematica, come la teoria delle spline e la sua formulazione in termini di strutture di controllo che forniscono un'elegante interfaccia per la progettazione interattiva a forma libera attraverso algoritmi di calcolo altamente efficienti. Il successo delle spline si riflette nell'ampio uso dei sistemi di modellazione basati su NURBS, che sono entrati anche in applicazioni come l'architettura che potrebbero non beneficiare realmente dei loro vantaggi, come la possibilità di approssimare qualsiasi forma con precisione arbitraria mediante curve e superfici con continuità controllata delle derivate fino ad un ordine scelto." (Pottmann, 2013)

Oggi non è facile individuare tutti i sistemi costruttivi utilizzati per le costruzioni in legno, tuttavia grazie alle nuove tecnologie e ai nuovi prodotti derivanti dall'innovazione di questo materiale si ha un bisogno sempre maggiore di creare nuovi sistemi che rispecchino gli studi e le sperimentazioni che si sono evolute nell'ultimo decennio, attraverso una maggiore consapevolezza delle capacità di questo materiale. Possiamo considerare ad esempio le tipologie di giunzioni e di taglio come nuovi sistemi costruttivi, correlati indubbiamente alla compressione fra di essi. Diventano così i giunti parte integrante dell'architettura.

Nasce così un bisogno maggiore di ingegneri specializzati in legno, i quali assumono il ruolo di un designer mediante la progettazione dei nodi strutturali. Inoltre, nel determinare il sistema di supporto e la sua forma, altrettanto importante è il ruolo che ricopre la tipologia di pannello utilizzato, nel caso in cui esso sia presente. La struttura quindi è sempre più considerata un insieme nel suo sistema costruttivo, sia come forma che come funzione.

In passato si è cercato di dare delle soluzioni e di sperimentare con il legno come materiale costruttivo, quasi come facciamo oggi attraverso l'utilizzo di elementi di dimensioni ridotte per aumentare le prestazioni attraverso le innovazioni geometriche. Un esempio lampante è l'Architetto Philibert De l'Orme, nato a Lione nel 1514, uno dei massimi esponenti di architettura francese del Rinascimento, il quale volle utilizzare

elementi in legno a sezione ridotta per la realizzazione dei suoi progetti combinando i principi di geometria (Figura 5), purtroppo però la sua idea non ebbe successo.

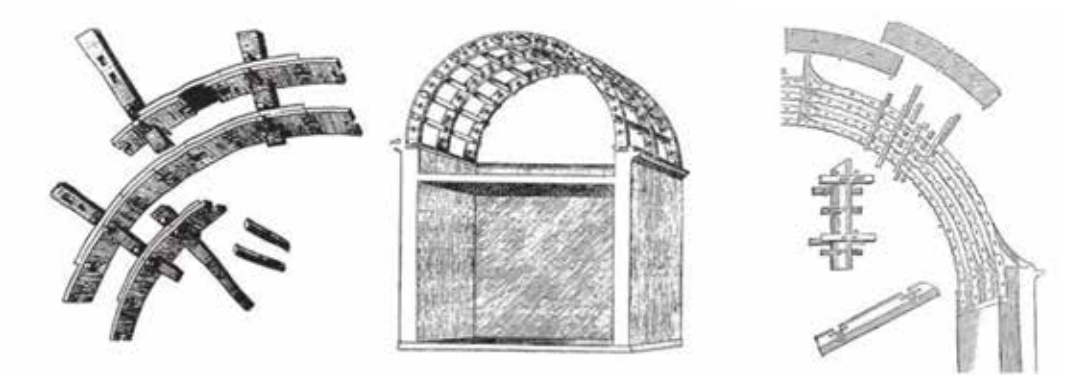


Figura 5 Il pannello definisce una parte della curva ed è posizionata verticalmente. Il bordo di ogni pannello descrive la sezione dell'arco.

Le principali cause furono il lavoro intensivo per produrre gli elementi disegnati e per le giunzioni difficili da realizzare, tutto questo oggi è stato superato grazie alla fabbricazione industriale e alle macchine CNC[36].

Troviamo diversi esempi di sperimentazione di questi nuovi sistemi costruttivi, sempre meno identificabili come tali, e sempre più considerati come parte dell'insieme architettonico. Possiamo quindi definire alcuni di questi in dettaglio.

Origami- Piastre piegate in pannelli di legno

Le applicazioni architettoniche e tecniche delle strutture ispirate agli origami utilizzano il potenziale strutturale del principio di piegatura per utilizzare meno materiale e aumentare l'efficienza strutturale.

Le terminologie comuni per descrivere queste tipologie di strutture che utilizzano i vantaggi della piegatura sono: lastre piegate, piastre piegate e strutture ondulate. Tuttavia, le strutture considerate sono composte da più superfici strutturali a piani

[36] Y., W. (2016). *Advanced Timber Structures : Architectural Designs and Digital Dimensioning*. Svizzera: Birkhauser Architecture

inclinati unite tra loro a creare una forma globalmente “ripiegata”, mentre il meccanismo sia a piastra che a lastra combinato dona un comportamento portante, il quale rende rigida la struttura.

Il termine perciò più adatto alla tipologia costruttiva è “strutture a superfici piegate”.

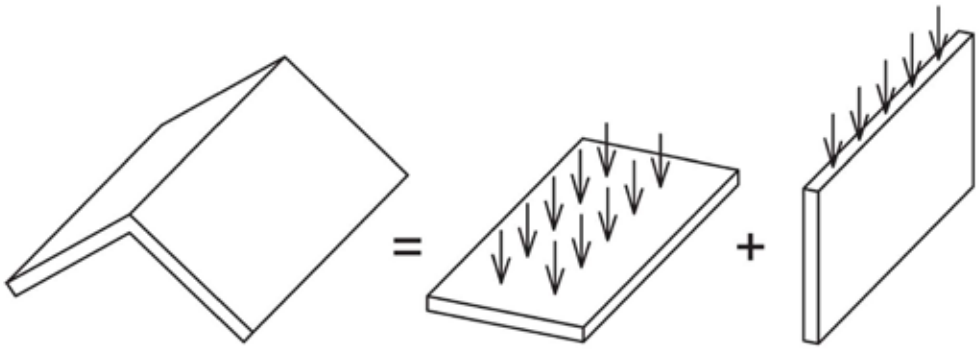


Figura 6

Riportiamo qui in esempio una struttura realizzata dagli studenti del Politecnico di Lausanne in Svizzera EPFL, i quali hanno applicato questa tecnica per la realizzazione di un prototipo sperimentale.

È stata proposta una struttura a superficie ripiegata realizzata con pannelli di legno ingegnerizzato prefabbricati la cui geometria a forma ripiegata scelta si è basata su elementi a rombi piegati, dimostrando come la rigidità complessiva di una struttura possa essere aumentata proprio attraverso la creazione di pieghe.

Figura 7 Prototipo EPFL

Il prototipo ha dimostrato la realizzazione di una struttura molto leggera con un rapporto peso/area superficiale di soli 11,5 kg/m2. Ha combinato con successo i vantaggi strutturali dei pannelli in legno con l'efficienza delle piastre piegate, pur rispettando i vincoli degli attacchi meccanici integrati. Inoltre, ha dimostrato l'elevata capacità strutturale della forma piegata scelta e ha convalidato i metodi di fabbricazione e di montaggio utilizzati per la sua costruzione. Tuttavia, va notato che sono necessarie ulteriori ricerche per quanto

riguarda i collegamenti fisici utilizzati. Il loro comportamento meccanico e la loro capacità portante devono ancora essere confermati.

La questione della progettazione di adeguati dettagli di giunzione a bordi sottili dei pannelli sottili rappresenta una grande sfida nell'ingegneria del legno, in quanto è difficile da affrontare utilizzando le tecniche standard di giunzione dei pannelli in legno[37].

Strutture a telai planari reciproci

Viene presentato un concetto strutturale modulare composto da elementi in legno planari piegati. Viene mostrato come la forma della struttura spaziale è determinata dalla geometria del suo modulo di base e dalla geometria di collegamento tra i pannelli. Rappresenta una nuova famiglia di strutture spaziali che possono essere interpretate come telai planari reciproci. L'implementazione del modello parametrico analizza e stabilisce miglioramenti strutturali, in particolare aumentando l'effetto di incastro delle connessioni.

Questa famiglia di strutture spaziali modulari è composta da elementi lineari intrecciati, dove la forma finale è il risultato di un modulo di base come tecnologia di connessione[7].

Riportiamo l'esempio sviluppato durante un Workshop intitolato "Atelier Weinand at IBOIS EPFL", sempre al Politecnico di Lausanne.

Figura 8 Atelier Weinand at BOIS EPFL

[37] Y., W. (2016). *Advanced Timber Structures : Architectural Designs and Digital Dimensioning*. Svizzera: Birkhauser Architecture

Strutture tessute in legno

Gli studi su questa tipologia di sistema costruttivo sono stati il fondamento della ricerca di dottorato di IBOIS tra il 2007 e il 2013: “Timberfabric: Applying Textile Assembly Principles for Wood Construction in Architecture”.

In particolare, sono stati esaminati i principi delle tecniche di assemblaggio tessile, in combinazione con elementi in legno deformabili elasticamente come componenti, per cercare di scoprire come possono essere utilizzati per lo sviluppo di un innovativo sistema di costruzione in legno unitario.

La prima parte determina il modulo in tessuto di legno come unità di base per il sistema strutturale modulare; questo è l'obiettivo di sviluppo. La seconda parte esamina le proprietà di questo modulo e le implicazioni della sua produzione su larga scala. La sezione finale, che costituisce la base di questo contributo, esplora sistematicamente le diverse possibilità di combinare più moduli in strutture più complesse ed esamina come la connettività tra i loro componenti possa essere stabilita e ottimizzata. (Weinand, 2016)

Le strutture in tessuto di legno sono costruzioni modulari che possono essere configurate con diversi livelli di complessità. L’elemento base è noto come modulo di tessuto in legno. Questo modulo è stato sviluppato sulla base delle cellule unitarie dei tessuti, nonché sul principio della disposizione degli elementi in ordine elicoidale, come viene applicato nella lavorazione del filato e in alcune forme di intreccio.

Le cellule unitarie di tessuto sono composte da due sezioni di filato intrecciato e sono interessanti per le loro qualità modulari e il rapporto reciproco dei componenti coinvolti.

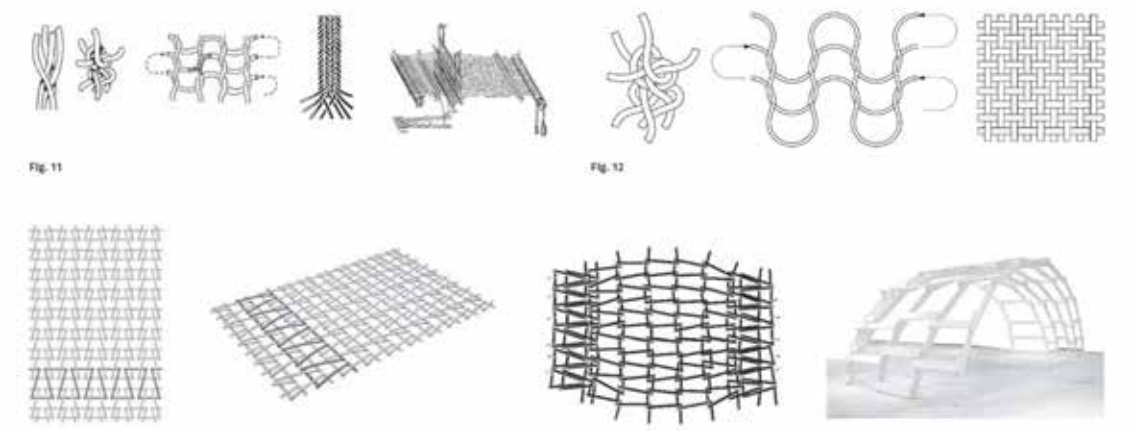


Figura 9

Anche il modulo in tessuto di legno è composto da due elementi lamellari intrecciati che si sostengono a vicenda in modo reciproco. Ispirandosi alle tecniche di tessitura e intrecciatura del filato, questi due componenti sono assemblati per ottenere una disposizione elicoidale. Insieme alle proprietà dei componenti, questo modo di montaggio genera la forma complessiva del modulo[38].

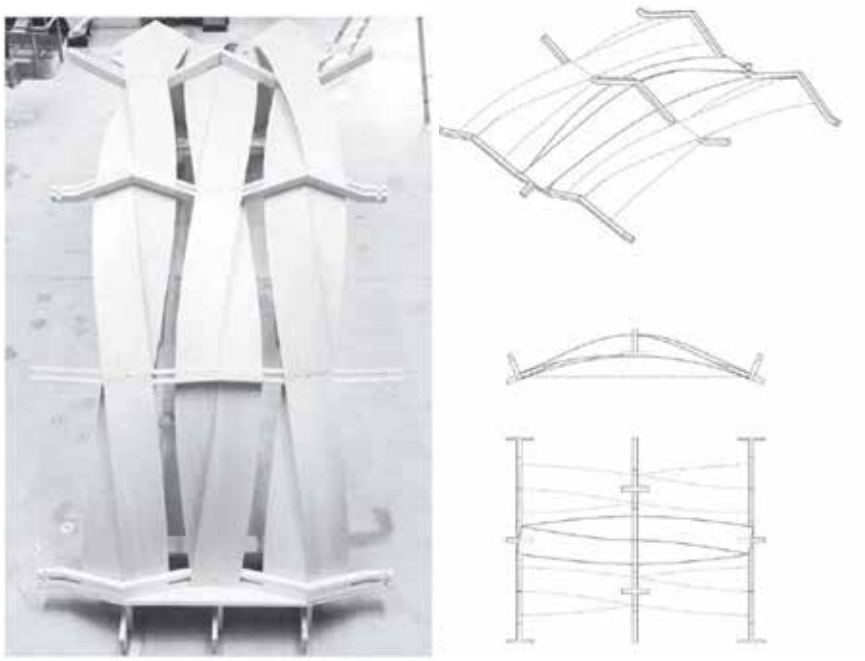


Figura 10

[38] Y., W. (2016). *Advanced Timber Structures : Architectural Designs and Digital Dimensioning*. Svizzera: Birkhauser Architecture

1.4. INNOVAZIONE DEL LEGNO INGEGNERIZZATO

Ad oggi, possiamo affermare che l'utilizzo del legno in ambito architettonico è decisamente aumentato rispetto a qualche decennio precedente. Il progresso tecnologico ha portato questo materiale, utilizzato già nelle più antiche costruzioni, ad un nuovo significativo cambiamento dettato dalle nuove tipologie di lavorazione, di fabbricazione e di utilizzo.

Sul mercato sono stati introdotti prodotti cha hanno migliorato le particolari caratteristiche di questo materiale, che fino ad allora avevano rappresentato un limite nel suo impiego, come ad esempio la manutenzione, i limiti dimensionali, l'anisotropia, la stabilità dimensionale, ecc.

Anche la tematica ambientale ha sicuramente influito sulla riscoperta del legno, grazie ai protocolli e alle normative infatti sono state messe in atto campagne di informazioni da parte degli attori coinvolti nell'intera filiera produttiva, dalla gestione delle foreste fino al riciclaggio dello stesso, attraverso diversi sistemi di marcatura e certificazione.

Oltre ai fattori precedentemente annunciati, possiamo ancora includere in questo processo di rinnovato interesse verso questi nuovi materiali legnosi la vastità di prodotti disponibili sul mercato in base alle diverse esigenze; il fattore economico legato alla produzione industrializzata dei diversi componenti consente di avere un prodotto con un costo decisamente minore, nonché di diminuire i costi della posa in opera grazie alla crescente prefabbricazione di interi componenti pronti ad essere installati e quasi privi di successive lavorazioni in cantiere[39].

L'innovazione delle tipologie di legno ingegnerizzato consiste nella negazione della sua essenza naturale, ovvero le sue prestazioni e caratteristiche vengono controllate e i nuovi elementi composti vengono progettati e definiti nelle dimensioni e nelle prestazioni.

Sono definiti materiali compositi a base di legno perché formati da un'aggregazione tra una materia prima naturale ed un adesivo che garantiscono l'unione degli elementi di

---

[39] Guido Callegari, R. Z. (2010). *BOISLAB. Il legno per un'architettura sostenibile.* Firenze: Alinea.

base. Il lamellare fu il primo composito ad essere impiegato in ambito edilizio, date le nuove caratteristiche di produzione divenne adatto all'utilizzo per edifici di dimensioni importanti. Il costante aumento delle prestazioni degli adesivi e delle tecniche di produzione ha permesso, inoltre, di farlo diventare sempre più competitivo nei confronti dei tradizionali materiali utilizzati in edilizia, come il cemento o l'acciaio.

Successivamente sono stati introdotti sul mercato compositi di nuova generazione a base di legno tra cui: Microlam o "microlamellare" (Laminated Veneer Lumber), Parallam (Parallel Strand Lumber), O.S.B. (Oriented Strand Board), Intrallam (Laminated Strand Lumber).

Lo sviluppo dei compositi a base di legno ha avuto il suo maggior incremento sia a livello di diffusione sia in termini di evoluzione e perfezionamento. Quando la reperibilità di legname proveniente da foreste primarie fu limitata, da allora la possibilità di poter usufruire degli scarti di lavorazione, di legnami di scarsa qualità e di materiali legnosi riciclabili portò un vantaggio per i paesi industrializzati nel loro utilizzo in modo efficiente.

Diversamente dal legno massiccio e dal legno lamellare, i compositi in legno hanno stabilità dimensionale, ovvero non subiscono variazioni dimensionali al variare della temperatura e dell'umidità nell'ambiente in cui vengono applicati. Gli elementi basi che vengono utilizzati per formare il composito definiscono l'omogeneità e la stabilità dimensionale finale, nel caso del Parallam, dell'Intrallam e dell'OSB i difetti naturali vengono eliminati grazie proprio alle loro dimensioni ridotte. L'incremento di queste caratteristiche porta un'ammissibilità maggiore anche nelle resistenze fisicomeccaniche, concretizzato con la definizione dei moduli di elasticità e dei valori caratteristici delle resistenze.

La riduzione degli elementi legnosi consente di attribuire e conservare forme particolari. L'aumento della plasmabilità è quindi legato all'aumento dell'isotropia del materiale; la curvatura che potrà assumere l'elemento è perciò proporzionale al suo spessore, più quest'ultimo è limitato maggiore sarà il risultato. Nello specifico si può affermare che i materiali compositi non presentano limiti di curvatura, mentre il lamellare,quando svolge un ruolo strutturale, ha un limite di raggio pari a 5m, riducibile all'aumentare del 50% del costo.

Sono svariati i campi d'impiego di questi materiali nell'edilizia, utilizzati dai serramenti fino ai ponti, sia nell'edilizia residenziale che industriale, scolastica, o legata al terziario, favorendo la realizzazione di opere di qualsiasi forma e dimensione[40].

> *"L'obiettivo principale nella produzione di un compensato strutturale è quello di ottenere un componente che, tramite azioni sinergiche, raggiunga prestazioni superiori a quelle dei suoi singoli costituenti, permettendo di beneficiare dei vantaggi che ne derivano. In questo contesto le opportunità dei compensati strutturali, relativamente all'ottimizzazione delle caratteristiche tecnologiche della materia prima, all'ampliamento delle possibilità architettoniche e alla riduzione dei costi di progettazione, costituiscono una delle principali ragioni sia del loro successo nei confronti dei tradizionali assortimenti in legno massiccio, che del loro rapido sviluppo." (Ferrante, 2008).*

I legni ingegnerizzati adoperati in applicazioni strutturali sono raggruppati nella famiglia Structural Composite Lumber o S.C.L. e comprendono i seguenti componenti: LVL, PSL, LSL, OSL.

Analizziamo in seguito i prodotti in legno ingegnerizzato i quali hanno ottenuto un riscontro maggiore sia come utilizzo sia come innovazione in rapporto alle loro caratteristiche prestazionali.

GLULAM – Glued Laminated Timber

Il legno lamellare è stato inventato da Otto Hetzer, un carpentiere svizzero, ed è costituito da lamelle di legno di dimensioni variabili, in larghezza da 10 a 24 cm e in lunghezza da 4 a 6 metri con uno spessore di 38mm, incollate fra loro e piallate.

La resistenza degli elementi portanti in legno lamellare è molto maggiore rispetto al legno massiccio grazie all'assenza di difetti, come nodi, variazione di sezione e torsione, data dalla selezione del legno adoperato, la principale specie di legno adoperata è di conifera, tra cui abete rosso, bianco e pino silvestre[41].

La fabbricazione del legno lamellare può essere divisa nelle seguenti fasi:

---

[40] Ferrante, T. (2008). *Legno e innovazione*. Firenze: Alinea.

[41] Firrone, T. (2011). *Il legno: tradizione e innovazione.* Roma: Aracne editrice.

- Fase uno prevede un attento controllo delle tavole, lo scopo è quello di eliminare i difetti che abbiamo nominato precedentemente. Successivamente si procede con l'essicazione artificiale al fine di raggiungere un'umidità relativa tra il 7 e il 15%;
- Fase due include un controllo dell'umidità del legno, si effettua il taglio alle estremità delle lamelle e si creano i giunti a pettine, questa fase è molto importante per assicurare una buona superficie di incollaggio. Grazie a questa lavorazione gli elementi possono essere di lunghezze considerevoli;
- Fase tre in cui vengono rettificate e piallate le lamelle, dopo questo trattamento la dimensione finale dello spessore si concretizza in 30/35cm;
- Fase quattro la maturazione, permette quindi che la colla faccia presa e che l'elemento sia compatto e pronto per la successiva trasformazione che prevede la formazione dell'elemento di progetto;
- Fase cinque, dove rientrano le operazioni di finiture, dunque si procede con il taglio su misura e con la sagomatura dell'elemento fino alla foratura per le eventuali connessioni metalliche;

> *"Ogni lamella viene sottoposta all'incollaggio per mezzo di una incollatrice a fili che sparge la colla su una sola faccia. Si impiegano prodotti diversi, a seconda dell'uso: colle termoindurenti a base di urea-formolo o melammina-formaldeide per strutture interne mentre, per gli ambienti esterni e per gli elementi strutturali portanti, si utilizzano colle alla resorcina-formaldeide. Si tratta di un incollaggio di tipo chimico, basato sulla polimerizzazione tra lignina e resine collanti." (Firrone, 2011)*

Sono stati svolti ulteriori studi per quanto riguarda l'utilizzo del legno lamellare e su come aumentare le prestazioni attraverso l'inserimento di rinforzi e tramite ulteriori lavorazioni che rendono questa tipologia di legno adatto a soluzioni strutturali più complesse. Tra i quali possiamo elencare: legno lamellare rinforzato; legno lamellare fibrorinforzato; legno lamellare armato; legno lamellare precompresso[42].

[42] Firrone, T. (2011). *Il legno: tradizione e innovazione.* Roma: Aracne editrice.

Le caratteristiche di questo materiale hanno permesso di realizzare strutture in legno oltrepassando i limiti imposti dall'utilizzo del legno naturale. Infatti, il legno lamellare offre la possibilità di realizzare strutture con complessi schemi statici, questo ha permesso una buona introduzione nel mercato, dove fino ad allora i grandi materiali come l'acciaio e il calcestruzzo erano gli unici protagonisti.

Molti progettisti hanno introdotto nella loro progettazione l'utilizzo di questo componente anche per opere di prestigio, inventando modelli stati sempre più ricercati e sperimentando nuove formule espressive. Il lato negativo di questo inserimento nel mondo delle costruzioni è stato proprio l'abuso, anche dove l'utilizzo di un legno massiccio era più adatto, veniva utilizzato il legno lamellare[43].

LVL – Laminated Veneer Lumber

"Il 'micro lamellare' nasce e si sviluppa come evoluzione del legno lamellare" (Ferrante, 2008). Il termine anglosassone significa che il materiale è composto da sfogliati laminati di legno parallelamente sovrapposti. Questi elementi sono formati da legno massiccio, prodotti di sintesi e da altre sostanze che migliorano le specifiche prestazioni. Tale processo offre la possibilità di attuare trattamenti mirati sui singoli sfogliati per aumentare e migliorare le caratteristiche di vario genere. La resistenza maggiore risulta essere quando il carico viene applicato parallelamente alla disposizione degli sfogliati che lo costituiscono.

Per la produzione di LVL sono utilizzate le seguenti specie legnose: legno da conifere, ad esempio l'abete rosso in Europa, il pino marittimo, il pino insignis, il larice, l'abete Douglas, l'eucalipto in Oceania e in USA, oppure latifoglie, tra cui faggio, noce, betulla, pioppo, ecc..

Il processo di produzione è il seguente:

- Primo step è caratterizzato dalla "bonifica" dell'elemento in legno massiccio, attraverso cui si riducono le imperfezioni naturali, donando al materiale una

[43] Giachino, D. M. (2013). *Legno. Manuale per progettare in Italia* . Torino: Utet Scienze Tecniche.

resistenza maggiore e riducendo le probabilità di deformazione e di eventuali rigonfiamenti;

- Secondo step è la sfogliatura, in questo caso si tagliano i tronchi, successivamente vengono scaldati tramite acqua calda per facilitare la sfogliatura (2-4mm di spessore circa);
- Terzo step in cui si realizza l'essicazione, si raggiunge così la stabilizzazione della materia prima;
- Quarto step, in base alla resistenza e alla densità vengono classificati gli sfogliati;
- Quinto step, gli sfogliati vengono disposti parallelamente in direzione longitudinali degli stessi;
- Sesto step, viene applicato su tutti i fogli un adesivo, solitamente è a base di fenolo-formaldeide;
- Gli step successivi sono: pressatura, essicazione, dimensionamento dell'elemento;

Lavorazioni successive possono essere: dei tagli speciali per creare elementi curvi o anche lineari, lavorazione per le connessioni che verranno in seguito installate, un secondo incollaggio per ottenere degli spessori maggiori, foratura, intagli o smussatura degli angoli quando richiesto, verniciature classiche o speciali a seconda delle necessita di prestazioni/design, o rivestimenti.

Il prodotto finito è pronto per la distribuzione e vendita, processi che concludono il ciclo produttivo.

Figura 11

I vantaggi di scegliere un micro lamellare : si possono controllare le caratteristiche del materiale grazie alla nuova uniformità del prodotto; a differenza del legno massiccio si ha una riduzione dei difetti; facilità nell'applicazione dei trattamenti protettivi; si hanno delle

caratteristiche meccaniche migliori rispetto al legno massiccio o a quello lamellare, ad esempio il modulo elastico del micro lamellare è del quaranta percento maggiore rispetto al semplice lamellare; infine possiamo avere un scelta per la conformazione superficiale, la quale varia dall'utilizzo della specie legnosa come materia prima dello sfogliato[44].

> *"In termini di sezione in micro lamellare rispetto ad un lamellare è ridotta del 20%; efficienza strutturale maggiore rispetto agli altri materiali da costruzione dovuta al rapporto fra la resistenza meccanica e il peso specifico (vedi tabella 1); costo energetico (vedi tabella 2); capacità isolante sia termico che acustica; riciclabile; riutilizzabile; resistenza sismica; trattamenti ignifughi; risparmio a livello di tempo". (Ferrante, 2008)*

Tabella 1 Efficienza strutturale

	Legno massiccio	Legno lamellare	LVL microlamellare	Cls
Resistenza a compressione (N/mm²)	15	24	30	2 5
Resistenza a flessione (N/mm²)	10	19	40	3
Modulo di elasticità (N/mm²)	6.000	11.000	13.000	28.800

Tabella 2 Costo energetico

	Acciaio	Acciaio galvanizzato	Alluminio	Legno segato	Compensato strutturale	Legno lamellare	LVL
Energia consumata [MJ/kg]	34.0	38.0	170.0	2.5	10.4	11.0	11.0

CLT – Cross Laminated Timber

La tecnica dei pannelli lamellari in legno massiccio nasce in Germania e rappresenta un'innovazione in campo sperimentale dei nuovi sistemi strutturali antisisma. Le grandezze di questi pannelli variano da 5 cm a 30 cm e sono composti da strati di legno massiccio incollati tra loro ruotati di 90°; i limiti dimensionali sono solitamente legati alla

[44] Ferrante, T. (2008). *Legno e innovazione*. Firenze: Alinea.

gestione del trasporto e del percorso stradale che devono affrontare, poiché le giunzioni sono realizzate a pettine non vi sono limiti in tal senso[45].

In base al tipo di pannello e al suo utilizzo gli strati possono variare, in particolare possiamo dire che il numero minimo per essere ritenuto tale sono 3 strati, questo elemento però avrà una prestazione strutturale minore ma adatta comunque a strutture semplici; per avere una garanzia maggiore a livello di comportamento fisico e meccanico bisogna adoperare un CLT a 5 strati.

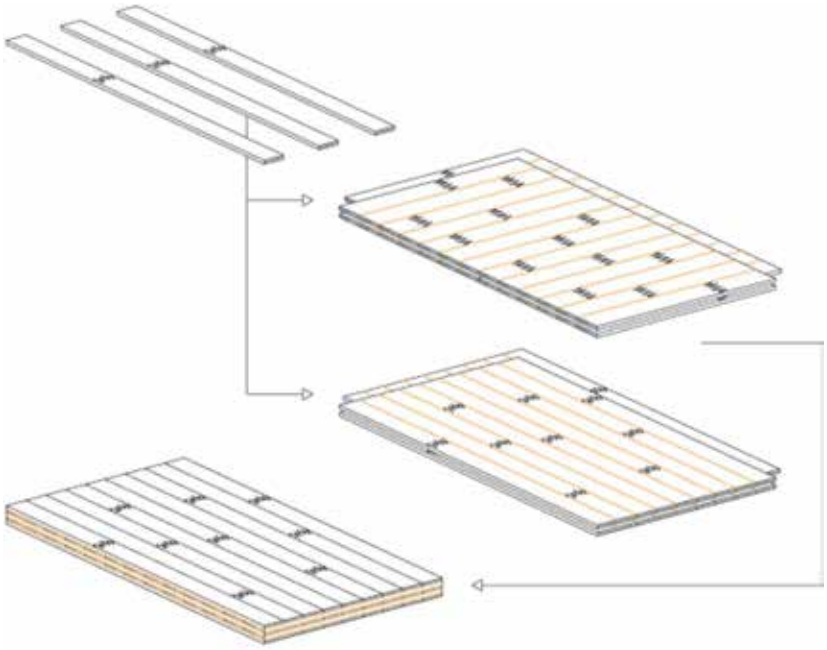


Figura 12 Disposizione degli strati alternati di CTL

Le caratteristiche fisico e meccaniche del pannello possono essere considerate come un elemento unico grazie alla loro unione attraverso un'incollatura che rende rigide le facce dei singoli strati, si può perciò determinare che non vi è alcuna influenza sul pannello stesso.

Il processo produttivo dei componenti in CTL è il seguente:

- Taglio delle tavole, larghezza solitamente compresa tra 80 e 240 mm e spessore tra 15 e 30 mm, il rapporto tra queste due grandezze deve essere definito in relazione l:s maggiore/uguale 4:1;

[45] Firrone, T. (2011). *Il legno: tradizione e innovazione.* Roma: Aracne editrice.

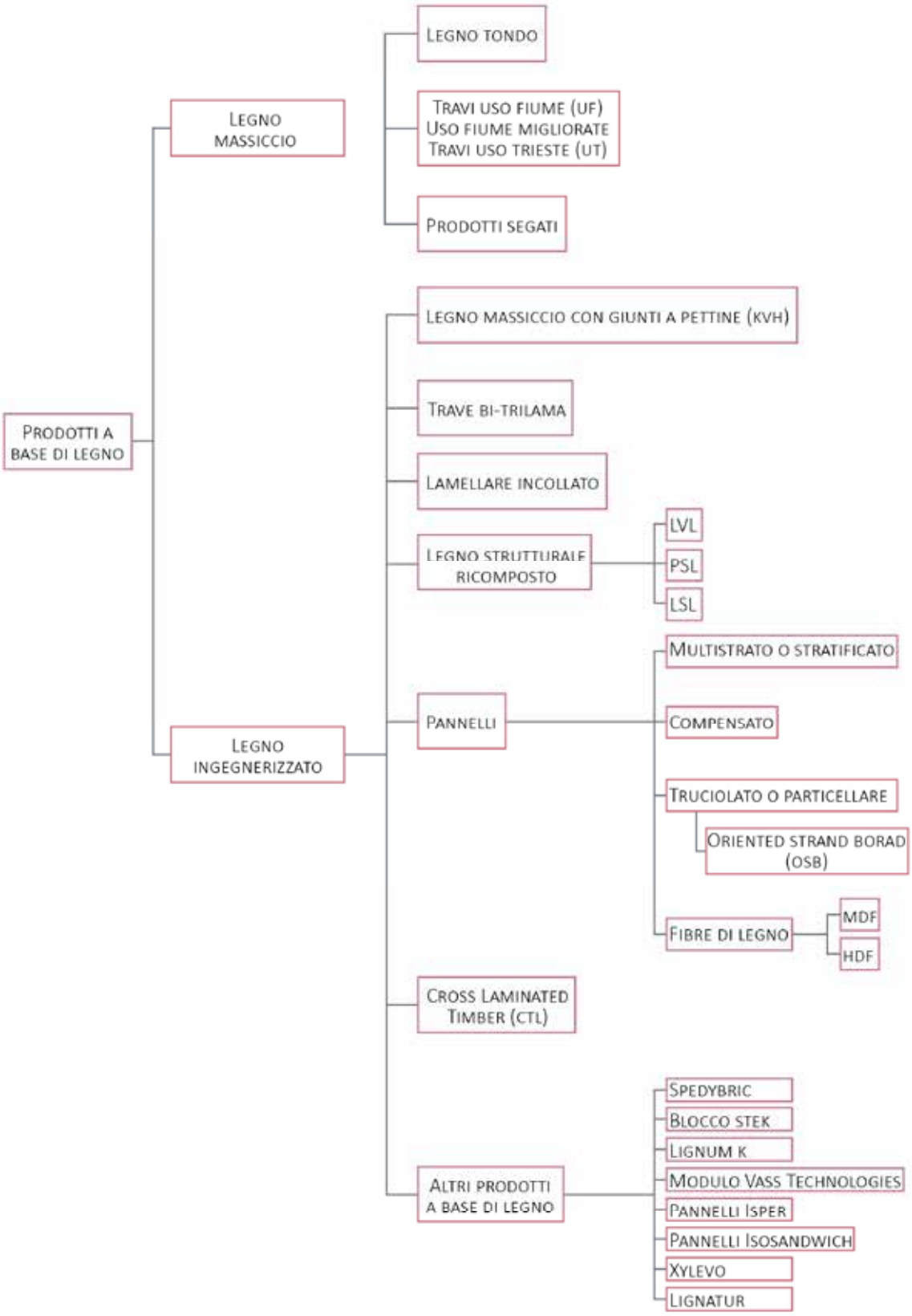
- Essiccazione, le lamelle vengono lasciate essiccare per diminuire il tasso di umidità al 12% circa, questo processo può avvenire tramite impianti industrializzati o in maniera naturale, è ritenuto indispensabile per garantire le caratteristiche fisiche e meccaniche dell'elemento, limita inoltre l'avvio di meccanismi di degrado, come ad esempio funghi, insetti, parassiti, e risulta indispensabile per assicurare un buon incollaggio tra le singole tavole;
- Selezione e classificazione, compiuta manualmente o in modo meccanizzato. Le tavole vengono classificate secondo una classe di resistenza specifica;
- Troncatura di eventuali parti che potrebbero compromettere le prestazioni dell'elemento finale come nodi o altri difetti;
- Piallatura e giuntura a pettine delle tavole longitudinalmente, così da ricavare tavole la cui continuità lineare prosegue per tutta la lunghezza che necessita il pannello finale;
- Unione trasversale tra le tavole, si garantisce una stabilità maggiore alla deformazione e si evitano probabilità di fessurazione da ritiro.
- Pressatura, sia verticale che orizzontale, in vengono adoperate presse idrauliche o con pompaggio a vuoto, in base allo spessore del pannello e della tipologia di collante utilizzata. La seconda tipologia di pressa crea una pressione maggiore a quella idraulica di dieci volte;
- Tagli e forature, attraverso macchine CNC;
- Finitura superficiale, posso essere rivestiti, lasciati al naturale o grezzi, oppure levigati e spazzolati in cui si effettui una posa a vista.

I collanti utilizzati per la produzione di questi pannelli sono di due tipi: poliuretaniche e melamina-urea-formaldeide. Il tipo di incollaggio è considerato come nel legno lamellare, ovvero uno strato di irrigidimento maggiore in relazione alla rigidezza dei singoli componenti in legno[46].

[46] Giachino, D. M. (2013). *Legno. Manuale per progettare in Italia* . Torino: Utet Scienze Tecniche.

"Il legno è l'unico materiale da costruzione che si può ritenere una risorsa. In particolare, rientra a pieno nella categoria delle risorse rinnovabili, quali le fonti inesauribili come l'energia solare, non possono essere consumate perché hanno la capacità di riprodursi o di rigenerarsi. Inoltre, la capacità di assorbenza di CO2 delle foreste è maggiore di quella emessa durante il processo produttivo dei derivanti del legno. Gli scarti utilizzati come combustibili per la stessa fabbricazione evitando almeno in parte l'utilizzo di altri carburanti fossili, quindi meno CO2. LVL tra i materiali che non contribuiscono all'effetto serra". (Ferrante, 2008)

Per completezza riassumiamo in questo schema tutte le tipologie di legno.



Evoluzione dell'utilizzo dei legni ingegnerizzati

Schema semplificativo delle principali tipologie di elementi unitari utilizzati nella composizione di compositi a base di legno.

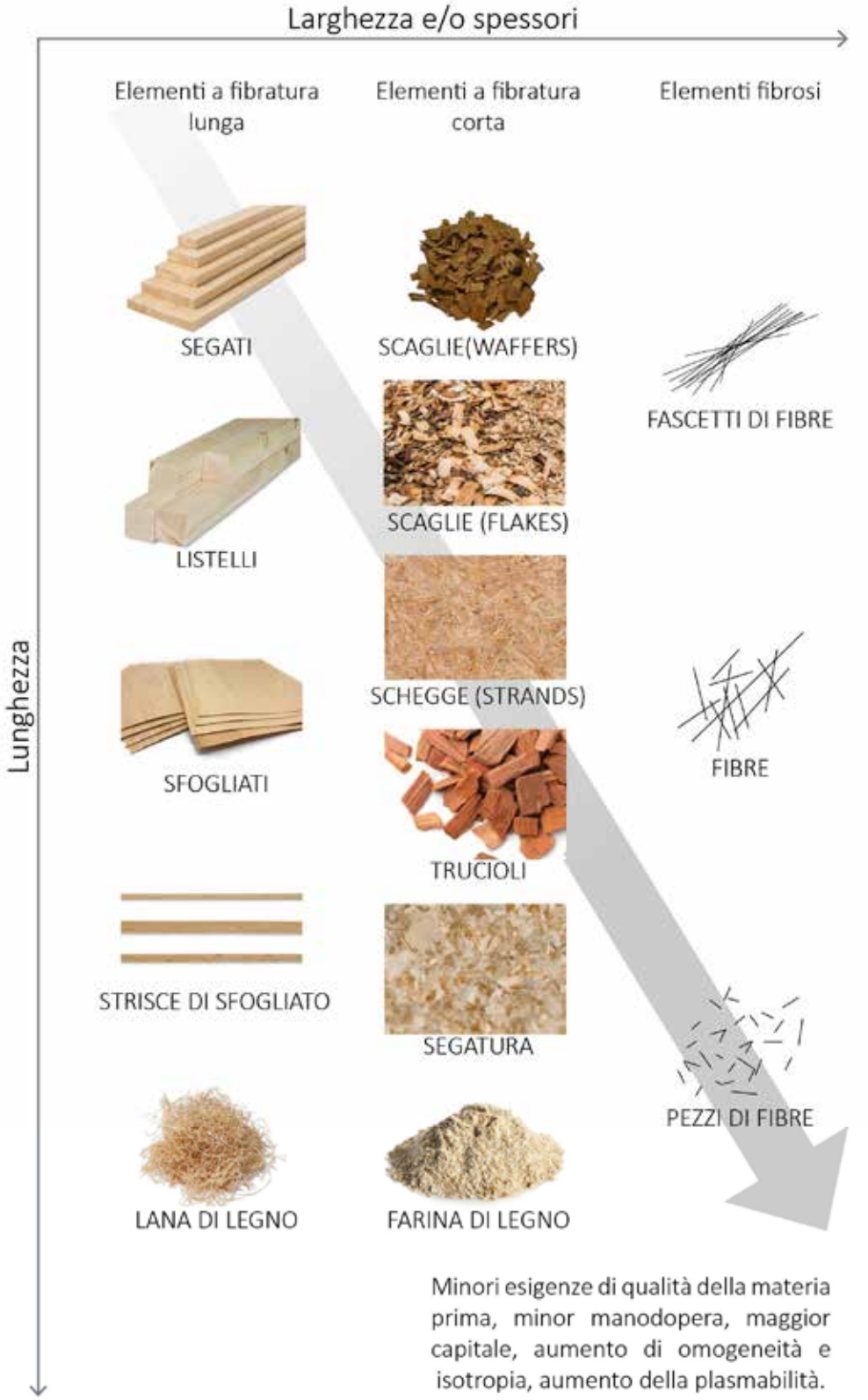


Figura 13 Tipologie di elementi unitari utilizzati nei compositi in legno.

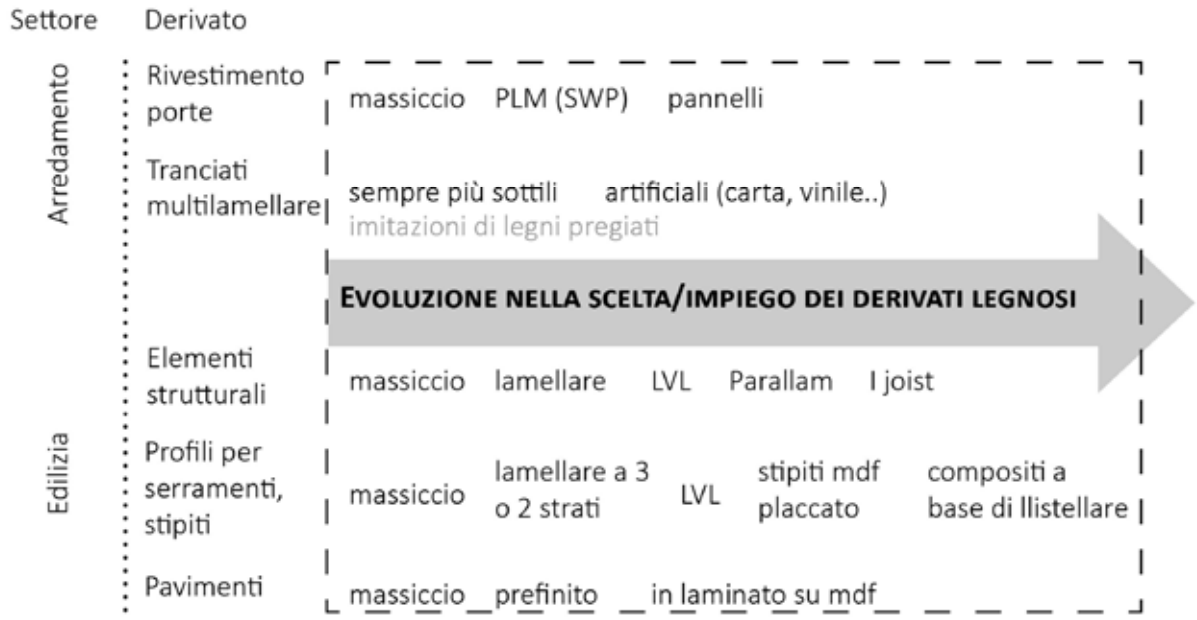


Figura 14 Evoluzione nella scelta d'impiego dei derivati legnosi

Si riscontra dalle tabelle precedenti, che l'utilizzo di compositi in legno è in aumento per tutti i settori di applicazione analizzati, in specifico quello dell'arredamento e dell'edilizia.

Nella prima figura vengono rappresentati le tipologie degli elementi che formano il composito, nel tempo l'evoluzione ha portato ad un uso sempre maggiore di elementi minuti e di qualità della materia prima minori rispetto agli elementi unitari utilizzati in passato, questi ultimi dovevano superare le esigenze minime richieste per poter essere applicato. Tra gli altri vantaggi che riscontriamo nello sviluppo di questi compositi sono il ridotto bisogno di manodopera, l'aumento dell'omogeneità e dell'isotropia dei derivati in legno, fattore determinante nelle scelte progettuali e soprattutto la plasmabilità del materiale, decisamente maggiore.

Nel secondo schema vengono esplicitate invece le scelte dei derivati legnosi nel tempo quindi il susseguirsi e la sostituzione in parte di alcuni componenti in determinate applicazioni, in particolare possiamo evidenziare l'evidente passaggio dall'utilizzo di legno massiccio all'utilizzo di legni ingegnerizzati e componenti legnosi.

La sostenibilità del legno

Il legno come materiale da costruzione vanta di un impatto ambientale decisamente minore rispetto ai materiali utilizzati oggi nell'edilizia tradizionale, ma i tempi e l'edilizia stanno e devono cambiare. Un importante strumento di valutazione di questi materiali è proprio la valutazione del ciclo di vita o LCA, questo ci aiuta a stimare gli impatti che hanno i diversi materiali sull'ambiente e il loro sistema di produzione, questa metodologia è sempre più utilizzata per la valutazione delle emissioni di gas serra (GHG).

È sempre più riconosciuto il ruolo delle foreste e dei materiali da costruzioni in legno per la loro capacità di sequestrare il carbonio nella biomassa vivente, questo avviane inoltre per tutta la vita utile del prodotto.

Tuttavia, l'efficacia delle foreste e dei prodotti in legno dipende sia dal tasso di crescita delle foreste sia dalle quantità di emissioni di gas serra associate all'insediamento, alla gestione e alla raccolta delle foreste, nonché al trasporto e alla lavorazione a valle dei prodotti.

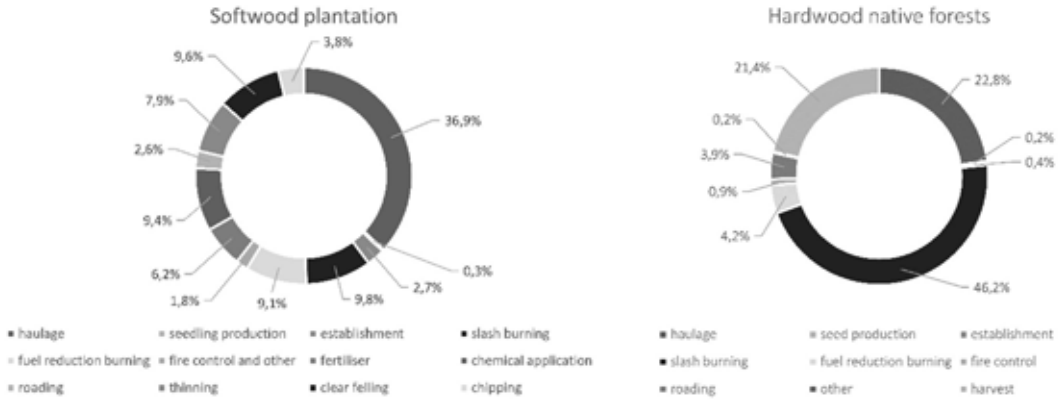


Figura 15 Contributi relativi delle diverse operazioni di gestione forestale alle emissioni totali di GHG derivanti dalla produzione di legno in: piantagioni di conifere e foreste native di latifoglie. In Australia.

LCA fornisce quindi i mezzi per valutare le emissioni totali derivanti dalla produzione di prodotti in legno e per confrontare l'impronta di carbonio degli stessi con quella di materiali alternativi.

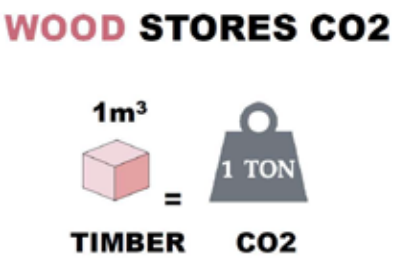
Per andare a fondo alla valutazione di questi prodotti in legno e della loro intera vita è stata creata la LCI-Life Cycle Inventories (o inventari del ciclo di vita) per la silvicoltura, cioè la disciplina che si occupa di studiare l'utilizzo dei boschi, la coltivazione e l'impianto,

in Australia è una sfida a causa dei tempi diradati che trascorrono tra l'insediamento e il raccolto finale, dato dalle ampie superfici e dalla elevata varietà delle operazioni interessate, dall'assortimento dei prodotti e dalla difficoltà nella valutazione degli impatti esterni, ovvero l'acqua, la biodiversità e persino il turismo.

Se si parla a livello internazionale invece, gli LCI dimostrano come le emissioni associate alla gestione delle foreste, al raccolto e al trasporto degli elementi sono ridotte rispetto al carbonio sequestrato degli elementi tagliati.

Un fattore che gioca un ruolo significante nei sistemi forestali australiani è costituito dagli incendi, sia quelli boschivi che quelli gestiti contribuiscono alle emissioni di GHG, rilasciano la CO2 sequestrata dalla foresta in crescita e anche altri gas, come il protossido di azoto e metano, i quali hanno un alto potenziale a livello di riscaldamento globale. Quindi, qualsiasi LCA della silvicoltura australiana dovrebbe tenere conto delle emissioni associate con la gestione in fiamme[47].

Quando pensiamo alla progettazione di un edificio o di una struttura in legno quindi, pensiamo alla volontà di ridurre le emissioni di CO2 provenienti dalla sua realizzazione.



Oggi, riscontriamo esempi di edifici multipiano che rappresentano un simbolo sia per il modo in cui essi si distinguono nel paesaggio sia come promotori della sostenibilità nell'architettura. Si parla di edifici riconosciuti a livello internazionale per la loro importanza, come HoHo a Vienna, Forte a Melbourne, Carbon 12 a Portland e il più alto oggi Mjøsa Tower a Brumunddal in Norvegia.

---

[47] Jacqueline R. England, B. M. (2013). Cradle-to-gate inventory of wood production from Australian softwood plantations and native hardwood forests: Carbon sequestration and greenhouse gas emissions. *Forest Ecology and Management*, 295-307.

Grazie a queste architetture si sono superati molti limiti imposti a volte dalle autorità stesse attraverso normative ristrette e non adeguate alle costruzioni in legno oggi. Inoltre, vengono considerate uno stimolo per la sensibilizzazione dei cambiamenti climatici.

L'edificio norvegese si trova in un luogo cruciale perché è noto per l'industria di lavorazioni in legno e per la sua selvicoltura, questo ha permesso di reperire la materia prima a km 0 e la totalità del progetto ha stimato un'impronta di carbonio molto bassa, circa 65 kg di CO2/mq[48].

Per comprendere meglio i vantaggi delle costruzioni in legno, si porta in esempio un confronto di un edificio di nove piani ipotizzato in cemento ed in legno, i dati dimostrano che il primo esempio realizzato ha un'emissione di 500T di CO2, mentre il secondo realizzato in legno ha uno stoccaggio di CO2 di 760 T[49].

[48] *AE architettura ecosostenibile*. (2020). Tratto da https://www.architetturaecosostenibile.it/

[49] Stops, V. (2014). Hackney: Timber First. Wood Works.

2. Proposta progettuale

La proposta di progetto consiste nella progettazione di un padiglione temporaneo situato nel parco dei Queen Vinctoria Gardens, a Melbourne. In seguito, si illustra la descrizione dell'associazione che fonda questo concorso da oramai sei anni e le descrizioni dei progetti passati.

2.1. THE NAOMI MILGROM FOUNDATION

La fondazione Naomi Milgrom nasce nel 2014, guidata dalla pioniera Naomi Milgrom, una business leader australiana la quale promuove e supporta l'innovazione culturale e artistica, grazie a questo è riconosciuta a livello internazionale. Diventa così la parte indispensabile per la collaborazione tra pubblico e privato al fine di raggiungere gli obiettivi prefissati attraverso progetti che creano valore sociale, ambientale ed economico.

Milgrom è conosciuta per aver condotto su un nuovo terreno collaborazioni con diversi partner ed altri enti con successo e senza scopo di lucro.

La fondazione ha come obiettivo l'incremento della vita culturale australiana attraverso il coinvolgimento del pubblico, sempre più ricco e vasto, con l'arte, l'architettura e il design.

Inoltre, la Naomi Milgrom Foundation sostiene diversi progetti multidisciplinari i quali esplorano le varie interconnessioni della cultura contemporanea con il design[50].

Come descritto da loro stessi, la Fondazione si basa su principi ben definiti e chiari, esplicitati a seguito.

"La Fondazione è dedicata a:

- *Messa in servizio di nuovi audaci progetti di architettura e design*
- *Migliorare la qualità della vita della comunità attraverso il supporto di un grande design*
- *Creazione della commissione annuale di architettura MPavilion e dell'evento di progettazione*
- *Ospitare il Forum annuale delle città viventi*
- *Collaborare con istituzioni culturali ed educative su programmi di eventi pubblici gratuiti correlati*
- *Creazione di nuovi partenariati pubblico-privato tra i settori filantropico, governativo e commerciale*
- *Esplorare il valore sociale, economico e ambientale e l'impatto del design*

[50] Sito web: http://www.naomimilgromfoundation.org/

- *Posizionare Melbourne come centro di progettazione e architettura dell'Asia-Pacifico*
- *Promuovere la partecipazione pubblica attraverso l'ingresso gratuito e la programmazione accessibile*
- *Sensibilizzare e celebrare l'architettura e il design contemporanei australiani e internazionali." (Milgrom, 2014)*

Il progetto principale della fondazione è MPavilion, la cui commissione risulta essere la più importante in Australia per l'architettura, raggruppando al suo interno i seguenti settori: governativo, privati e commerciali, richiamati alla collaborazione per la creazione di un luogo che diventa laboratorio culturale all'interno di uno spazio civico dove vengono realizzati centinaia di eventi e attività lungo il suo intero programma.

Quest'ultimo si concretizza con una serie di committenze, avviate appunto nel 2014 dalla Fondazione e sostenuta dalla città di Melbourne, dal governo dello stato del Victoria mediante Creative Victoria e AZN.

Il progetto MPavilion si sviluppa mediante la contrattazione di un architetto di elevata fama internazionale, si tratta quindi di progettare un padiglione per un parco di grande importanza per la città di Melbourne perché si trova nel centro del Southbank Arts Precinct, i Queen Victoria Gardens, cuore pulsante del quartiere artistico.

Il programma per questo padiglione consiste nella sua permanenza della durata di quattro mesi, da ottobre a febbraio, nel parco Queen Victoria Gardens dove la fondazione si occupa della gestione degli eventi organizzati per l'intera durata e ne garantisce la piena partecipazione gratuita ad ognuno di essi, i quali possono trattarsi di interventi culturali, spettacoli, installazioni, discorsi o raduni.

Alla fine di questi mesi di eventi e di interazione culturale con la città di Melbourne il padiglione viene quindi donato alla città stessa e al popolo di Victoria, da qui inizia poi la sua seconda vita in una nuova casa che lo ospiterà per la sua intera vita.

MPavilion vuole sottolineare l'importanza della città di Melbourne come capitale creativa e del design dell'Australia. Melbourne si colloca come leader a livello mondiale nella vivibilità ed MPavilion persiste nel promuovere l'importanza che il dibattito e la discussione sul ruolo dell'architettura, del design e della cultura hanno nel creare città

vivibili, eque e creative. Ad oggi si possono ritrovare cinque MPavilions distribuiti nella città di Melbourne e dintorni, i quali possono essere visitati, in base alla loro collocazione attuale sono più accessibili o meno[51].

Mappa dei padiglioni nella città di Melbourne.

Figura 16 Fonte: https://www.melbourne.vic.gov.au/ (rielaborata)

[51] Sito web: https://mpavilion.org/

2.1.1. GLI MPAVILIONS

La progettazione dei padiglioni ha un'impronta molto diversa nei diversi anni, a partire proprio dall'architetto commissionato dalla Fondazione.

Durante i sei anni in cui sono state realizzate, queste architetture hanno assunto scenari diversi, partendo dalla varietà delle forme, fino alla diversificazione dei materiali impiegati. Per questo, il passaggio successivo sarà analizzare per ogni anno il padiglione progettato e il suo successivo collocamento definitivo.

> *"My three main inspirations have been first of all the Serpentine Pavilion, recognized worldwide, secondly our wonderful city of Melbourne and thirdly a commitment to contemporary architecture and design". (Milgrom, 2014)*
>
> *"I envisioned MPavilion as a unique architectural commission and design event for Melbourne."*
>
> *"Designed to be both reactive and catalyst - a utopian cultural space and a container for ideas and discussions - the MPavilion programme seeks to engage a new audience, promote public and private partnerships and generate economic, social and educational outcomes that benefit the Melbourne community." (Milgrom, 2014)*

Traduzioni:

"Le mie tre principali ispirazioni sono state innanzitutto il Serpentine Pavilion, riconosciuto in tutto il mondo, in secondo luogo la nostra meravigliosa città di Melbourne e, in terzo luogo, un impegno per l'architettura e il design contemporanei"

"Ho immaginato MPavilion come una commissione di architettura unica e un evento di design per Melbourne"

"Progettato per essere sia reattivo che catalizzatore - uno spazio culturale utopico e un contenitore di idee e discussioni - il programma MPavilion cerca di coinvolgere un nuovo pubblico, promuovere partenariati pubblici e privati e generare risultati economici, sociali ed educativi benefici per la comunità di Melbourne "

In seguito, i diversi padiglioni costruiti lungo gli anni fino ad oggi sono stati studiati, analizzati e spiegati per comprendere in fondo le scelte progettuali dei grandi architetti e riuscire ad apprendere da queste degli spunti e dei suggerimenti per una progettazione più consapevole e critica.

MPavilion 2014

Architetto: Sean Godsell Architects

Materiali: acciaio e alluminio

Luogo attuale: Hellenic Museum, Melbourne

Descrizione: la struttura vuole ricordare l'*humpy* aborigeno, sia per la sua forma sia per la funzione che dovrà svolgere, ovvero un luogo in cui riunirsi, conversare e connettersi.

Il concept del progetto è quello di rappresentare un elemento fiorente di architettura, dove i pannelli verticali di tamponamento e quelli orizzontali che chiudono la struttura si aprono verso la luce del mattino per poi richiudersi di notte diventando una forma scatolare.

Gli stessi pannelli mobili sono utilizzati per ombreggiare e per filtrare i raggi solari dato che sono costituiti da alluminio perforato e perciò permettono di riflettere la luce[52].

All'inaugurazione del primo padiglione, aperto ufficialmente dal co-direttore del Serpentine Gallery di Londra, Julia Peyton-Jones OBE dichiara quanto segue:

> *"It's exciting that our annual pavilion now has a twin in Australia."*
>
> *"I hope this will be the beginning of an ongoing relationship with the exhibition of architecture through built space rather than an exhibition."*

Traduzione:

"È eccitante che il nostro padiglione annuale abbia ora un gemello in Australia"

"Spero che questo sarà l'inizio di una relazione in corso con l'esposizione dell'architettura attraverso lo spazio costruito piuttosto che in una mostra."

[52] https://mpavilion.org/

Figura 17 Fonte: www.mpavilion.com.au

MPavilion 2015

Architetto: AL_A, Amanda Levete

Materiali: colonne in fibra di carbonio e materiali aerospaziali

Luogo attuale: Docklands, Melbourne

Descrizione: Lo studio dell'architetto britannico Amanda Levete ha impiegato materiali e tecnologia sviluppati per l'industria aerospaziale per creare un grazioso "baldacchino" di petali traslucidi larghi cinque e tre metri supportati su sottili colonne alte quattro metri.

Ogni petalo ha uno spessore di pochi millimetri e la struttura ultraleggera si immerge completamente nel paesaggio naturale circostante e risponde delicatamente al clima. I petali sono dotati di luci a LED che si attivano al tramonto per dare una prestazione di luce sincronizzata con la musica.

> *"Composite technology has revolutionized engineering sectors such as aerospace and has the potential to do the same for construction. The use of composite materials enables structures of unprecedented lightness combined with great strength and potential applications in architecture are surprisingly unexplored."* (Levete, 2015)

Traduzione: "La tecnologia composita ha rivoluzionato i settori dell'ingegneria come quello aerospaziale e ha il potenziale per fare lo stesso per l'edilizia. L'uso di materiali compositi consente strutture di leggerezza senza precedenti combinate con una grande forza e le potenziali applicazioni in architettura sono sorprendentemente inesplorate."

Il design di MPavilion 2015 utilizza metodi di costruzione compositi recentemente sviluppati, perfezionati in collaborazione con lo specialista australiano mouldCAM, per creare un design modulare composto da 13 petali grandi e 30 piccoli che rispondono all'ambiente, tremando nel vento e creando un gioco al di sotto di luce e ombra. I petali sono supportati da 95 colonne in fibra di carbonio che variano da quattro a tre metri di altezza. Ogni colonna è dotata di un anello di luci a LED che si attivano al buio e formano un'interessante performance di luce sincronizzata con un paesaggio sonoro serale nei Queen Victoria Gardens ogni notte[53].

---

[53] *AL_A: MPavilion 2015,* in "*Domus*", a.2015, 27 ottobre 2015, www.domusweb.it

Figura 18 Fonte: www.mpavilion.com.au

MPavilion 2016

Architetto: Studio Mumbai, Bijoy Jain

Materiali: bambù

Luogo attuale: Melbourne Zoo, Melbourne

Descrizione: il padiglione progettato dallo studio Mombai è stato realizzato in collaborazione con Kane Constructions[54] e la comunità di Melbourne.

La struttura che potrebbe sembrare apparentemente simmetrica è interrotta da una tazia* situata alla destra del centro, oltre che segnalare un punto di accesso, è simbolo di una connessione longeva tra cielo e terra che unisce tutti noi, proveniente da tradizionali strutture cerimoniali indiane.

Il tetto si estende ai suoi estremi fino a superare i pilastri in bambù che lo sostengono, a ricordare la chioma di un albero che si estende oltre al suo fusto, mentre le creste curve si alzano per formare all'interno un'altezza di ben dodici metri. Il vuoto che forma la tazia viene incorniciato dal tetto ed enfatizza il legame tra cielo e il nucleo della terra[55].

> *"I think it's a space where heart, mind and body are all connected," explains Jain. "It is a space to collect, think and reflect, one that is rooted in the self. But it also creates a space for the people of Melbourne where they can experience it. My hope for MPavilion is that it will continue to serve as a gathering space for all cultures and all at very complex levels, both immediate and distant."(Jain, 2016)*

Traduzione:

"Penso che per me sia uno spazio in cui cuore, mente e corpo sono tutti collegati", spiega Jain. "È uno spazio per raccogliere, pensare e riflettere, uno che è radicato nel proprio io. Ma, anche, per la gente di Melbourne, crea uno spazio in cui possono sperimentarlo. La mia speranza per MPavilion è che continui a fungere da spazio di raccolta per tutte le culture e tutti a livelli molto complessi, sia immediati che lontani. "

---

[54] Team di artigiani che hanno viaggiato in India per un seminario con Studio Mumbai e artigiani locali per apprendere tecniche di costruzione che potrebbero essere adattate in loco a Melbourne

[55] Fonte: https://architectureau.com/

Figura 19 Fonte: www.mpavilion.com.au

MPavilion 2017

Architetto: OMA/Rem Koolhaas & David Gianotten

Materiali: acciaio, alluminio e legno

Luogo attuale: Monash University in Clayton, Melbourne

Descrizione: come primo riferimento il progetto prende spunto dall'antico anfiteatro, con la volontà di creare uno spazio flessibile che possa essere utilizzato come palcoscenico e come parco giochi.

La planimetria del padiglione è composta da due grandi moduli: uno fisso e l'altro mobile. La struttura fissa è scavata nel paesaggio ed è circondata da diverse specie di piante australiane, mentre la parte interna è avvolta dalla scalinata di sedute, di cui una parte è mobile e può essere ruotata per permettere di utilizzare lo spazio in maniera differente.

La copertura è composta da una struttura alta due metri a griglia meccanica in acciaio e rivestita in alluminio con elementi, che a seconda dell'evento, possono essere modificati[56].

> *"We wanted to create an open place for debate rather than an artifact."*
>
> *"It is a place that provides a platform for the city to discuss its unique future on a local and global scale." (Gianotten, 2017)*
>
> *"Since the pavilions are now often" used "as works of art made by architects, we wanted to create a space where the dialogue between users was the focus of attention rather than the aesthetics of it." (Gianotten, 2017)*

Traduzione:

"Volevamo creare un luogo aperto per il dibattito piuttosto che un manufatto"

"È un luogo che offre una piattaforma alla città per discutere il proprio futuro unico su scala locale e globale"

"Dato che i padiglioni sono ora spesso" utilizzati "come opere d'arte realizzate da architetti, volevamo creare uno spazio in cui il dialogo tra gli utenti fosse il punto centrale dell'attenzione piuttosto che l'estetica di esso"

---

[56] https://mpavilion.org/

Figura 20 Fonte: www.mpavilion.com.au

MPavilion 2018

Architetto: Carmen Pinós

Materiali: acciaio e legno

Luogo attuale: non definito

Descrizione: il design della struttura evoca le forme degli origami attraverso piani galleggianti appoggiati su punti elevati nel parco, collegando il padiglione alla città.

Lo stesso è l'insieme di due metà distinte, le quali vengono sorrette da un telaio in acciaio costituito da un portale centrale, il rivestimento è realizzato in legno e le sedute vengono estrapolate dai tumuli della topografia alterata permettendo molteplici esperienze.

La relazione del padiglione con il parco circostante permette di contemplare il percorso del sole grazie al gioco di ombre creato proprio dalla pelle che lo ricopre, mentre nei giorni piovosi sarà possibile ammirare il movimento dell'acqua dal suo tetto trasparente[57].

> *"It's the city's job to socialize. Good cities are great meeting places built by small meeting places: streets, parks, promenades, squares. So I try to design buildings and spaces where the streets intersect and there is an exchange, and people can feel part of a community." (Pinós, 2018)*

Traduzione:

"È compito della città socializzare. Le buone città sono grandi luoghi di incontro costruiti da piccoli luoghi di incontro: strade, parchi, passeggiate, piazze. Quindi cerco di progettare edifici e spazi in cui le strade si intersecano e c'è uno scambio, e le persone possono sentirsi parte di una comunità ".

[57] (https://mpavilion.org/)

Figura 21 Fonte: www.mpavilion.com.au

MPavilion 2019

Architetto: Glenn Murcutt AO

Materiali: acciaio,

Luogo attuale: Queen Victoria Gardens

Descrizione: la celebrazione da parte dell'architetto verso il paesaggio australiano porta il progetto alla riduzione dell'architettura ai suoi componenti essenziali. Il padiglione è orientato verso il fiume Yarra e verso lo skyline della città, è formato da una copertura leggera a membrana retto da sottili pilastri in acciaio. Inoltre, l'illuminazione è nascosta dalla stessa struttura e questo rende il tetto ancora più leggero, quasi "fluttuante". Nelle estremità della struttura sono presenti due blocchi che hanno la funzione di armadi.[58]

> *"Glenn's 50-year practice has inspired a new movement in thinking about climate-sensitive design. His MPavilion perfects the Australian characteristics we have all come to love about his buildings and provokes a conversation about how Australian design can lead a growing international conversation about the future of cities." (Milgrom, 2019)*
>
> *"It's extraordinary what Naomi has achieved with MPavilion. She's one of the great people in this country for supporting the arts, and more than just art but architecture, with a special understanding of city life. MPavilion is such an interesting, assiduous project and I'm honored to be commissioned." (Murcutt, 2019)*

Traduzione: "La pratica cinquantennale di Glenn ha ispirato un nuovo movimento nel pensare al design sensibile al clima. Il suo MPavilion perfeziona le caratteristiche australiane che tutti abbiamo imparato ad amare dei suoi edifici e provoca una conversazione su come il design australiano può condurre una crescente conversazione internazionale sul futuro delle città "

"È straordinario quello che Naomi ha ottenuto con MPavilion. È una delle grandi persone in questo paese per il sostegno alle arti, e più che all'arte all'architettura, con una speciale comprensione della vita in città. MPavilion è un progetto così interessante e assiduo e sono onorato di essere stata incaricata di questo progetto".

---

[58] S. Crafti, Glenn Murcutt unveils 2019 MPavilion in Melbourne's Victoria Gardens, in "Wallpaper*", 18 novembre 2019, https://www.wallpaper.com/

Figura 22 Fonte: www.mpavilion.com.au

2.2. LA NOSTRA ESPERIENZA A MELBOURNE

Il nostro viaggio inizia da una prima ricerca, la quale vede come obiettivo la sperimentazione di strutture temporanee con le nuove tipologie di legno ingegnerizzato, di conseguenza un approfondimento su questo materiale, "il legno", il quale rappresenta la chiave di svolta in questo periodo storico per quanto riguarda la sostenibilità ambientale e il consumo di risorse naturali, che noi stessi stiamo portando via al nostro pianeta.

Una prima analisi si è focalizzata sul capire in quale stato queste nuove tecnologie che includono le progettazioni in legno sono più evolute e dove la ricerca viene applicata anche a livello universitario attraverso piccoli progetti. Ebbene, la risposta che abbiamo avuto dalle nostre indagini ci hanno portato proprio in Australia, un paese che fonda le sue tipologie costruttive sul legno, il quale non si è fermato alle tecniche tradizioni del suo impiego ma ha scommesso e investito sulla ricerca, non solo come stato ma anche nelle piccole realtà si è cercato di portare avanti l'innovazione, parliamo di molte aziende produttrici di legno ingegnerizzato che pongono particolare attenzione alle nuove scoperte e promuovono la ricerca didattica. In effetti, diversi sono i progetti di sperimentazione di piccole architetture in collaborazione tra gli studenti universitari e le aziende.

In effetti, l'università di Melbourne promuove come obbiettivo quello di costruire una collaborazione che permette agli studenti di sviluppare un approccio integrato per apprendimento[59].

Alcuni degli esempi di strutture progettate dagli studenti in collaborazione con aziende e professionisti sono in seguito illustrate nella Figura 23 e Figura 24.

[59] P. Loh, «ARTICULATED TIMBER GROUND, MAKING PAVIL-ION AS PEDAGOGY,» Universiti of Melbourne, Melbourne, 2015.

Figura 23 Articulated Timber Ground pavilion.

Figura 24 Caulfield Sound Shell.

Oltre alla ricerca e alle applicazioni didattiche del legno possiamo anche affermare che l'Australia si posiziona tra i principali paesi in cui vengono applicate le innovazioni delle costruzioni in legno per edifici di dimensioni notevoli, come ad esempio la torre nominata "25king", progettato dallo studio Bates Smart Architects, con una griglia di sei metri per otto metri di colonne in legno lamellare a vista con rivestimento in legno lamellare incrociato (CLT), così come il pavimento in CLT. Philip Vivian, direttore di Bates Smart, ha dichiarato: "Questo edificio segna un autentico impegno nei confronti del CLT da parte dell'industria. È emozionante vedere le idee prendere piede ed evolvere in tutto il mondo, e siamo felici di contribuire con le lezioni che abbiamo imparato".

L'edificio è stato classificato con sei stelle Green Star e cinque stelle NABERS Energy[60].

Infine, l'esperienza è stata molto formativa in quanto il conoscere una città come Melbourne, completamente diversa dalle città europee e da tutto quello che abbiamo studiato nel nostro percorso formativo.

Prima ancora di giungere alla voce successiva però, e quindi entrare nell'approfondimento del progetto, è opportuno soffermarci e capire il contesto in cui ci stiamo collocando e avere un'ampia visuale sul panorama della città.

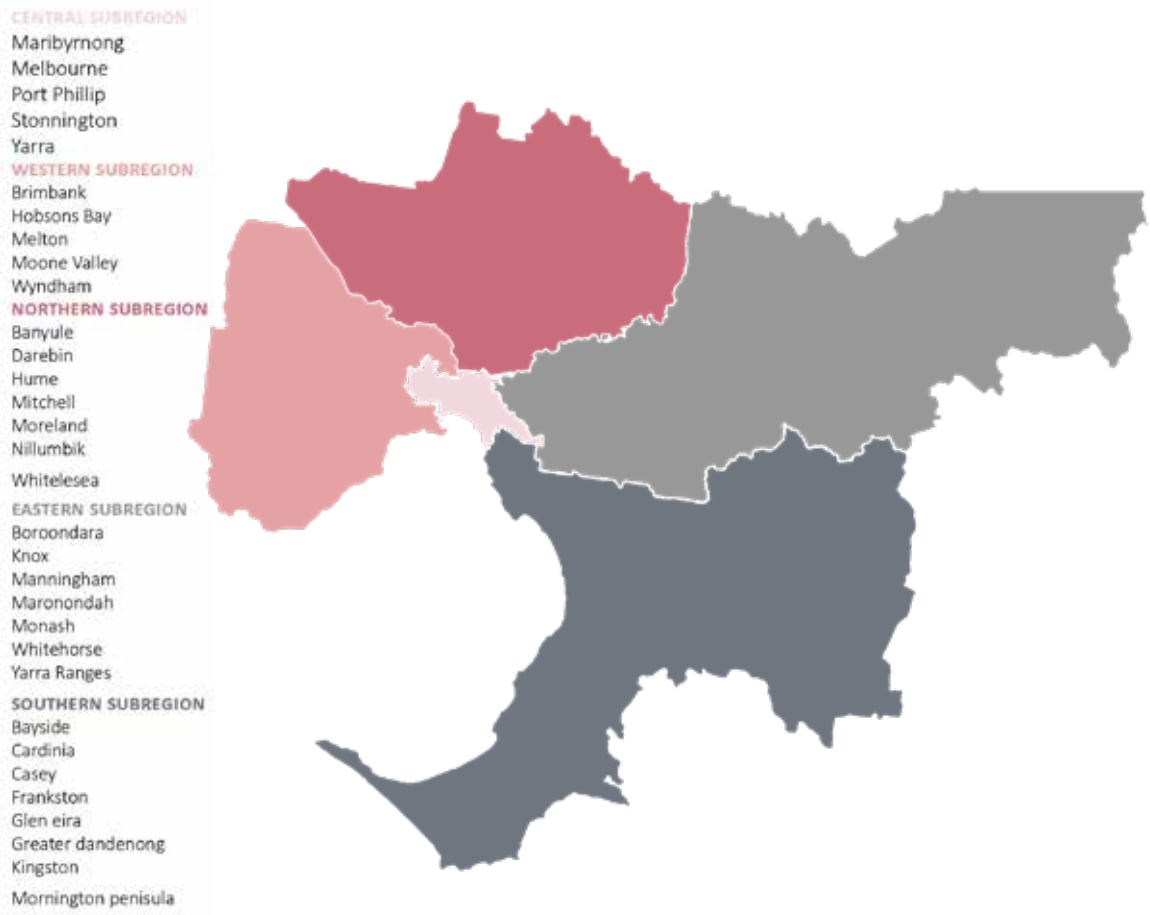
È stato opportuno partire da una scala maggiore dove descrivere in quale zona dell'Australia andiamo ad intervenire, con particolare attenzione alla città Melbourne come inquadramento territoriale al fine di comprendere i diversi fattori che hanno influenzato e delineato le nostre scelte a livello progettuale.

[60] E. D. AAU, «Australia's tallest engineered timber office building opens,» *ARCHITECTUREAU,* 2016.

Melbourne, AU

La città di Melbourne si trova ed è la capitale dello Stato del Victoria, esattamente nella parte sud-orientale del paese. La città nasce nel 1835 e si sviluppa lungo il fiume Yarra, oggi ocstituita da 32 municipalità ed è la più grande conurbazione e più popolosa dopo Sydney[61].

Melbourne 'City of Cities' (Kent, 2016)



Città creativa (Shaw, 2014)

Nell'articolo di Kate Shaw parla di come la città di Melbourne sia cambiata negli ultimi vent'anni e delinea la risposta della città al problema della ricapitalizzazione, la quale viene affrontata non in modo convenzionale come in tante altre città ma si pensa e si progettano luoghi permanenti per la cultura. Parlano di città creativa, in altri termini ma

[61] www.wikipedia.com

l'idea parte dai loro testi, Lewis Mumford e Jane Jacobs, i quali hanno disegnato la 'good city' come una città diversa, con diversità a livello sociale, economica e culturale e una diversità proporzionata nella forma costruita, che genera l'impegno e la creatività del pubblico. (Shaw, 2014)

Per essere tale la città creativa deve avere gli elementi identificati da tutte queste teorie: spazi pubblici vivaci, diversità multiculturale, ristoranti e cafes, architetture storiche, strutture culturali e per il tempo libero, investimenti nelle arti e così via. Un esempio a Melbourne di larga rigenerazione urbana basata su queste teorie e principi della città creativa è rappresentato da Docklands, l'area portuale della città dove troviamo oltretutto molti esempi di strutture temporanee tra cui MPavilion 2015 e Community Garden Shelter (Figura 25). Quest'ultimo progettato, insieme ad altri professionisti, dall'Ing. John Bahoric nonché nostro consulente esperto in costruzioni in legno durante la nostra permanenza in Australia.

Figura 25 Community Garden Shelter, John Bahoric

Melbourne stava diventando nota sia a livello nazionale che internazionale per la sua scena culturale. Per il consiglio e i funzionari statali impegnati nello sviluppo culturale della città, il linguaggio della città creativa neoliberale è stato utile.

> *"internazionalmente Melbourne è riconosciuta come 'Citta delle Arti' in Australia. La presenza di artisti e gente creativa che vive e lavora nella città aiuta a portare*

energia e vitalità alla città, combinato con i legami dimostrati con la rigenerazione urbana e il miglioramento della qualità della vita" (City of Melbourne, 2007)

Alcune raccomandazioni dallo sviluppo culturale precedentemente citato sono state attuate in diversi modi nelle strategie artistiche del consiglio degli anni 2004-2007. Si è posto l'obiettivo di fornire nuovi spazi creativi nella città con l'aspettativa di catalizzare un'ulteriore rigenerazione urbana. Il rapporto del 2007 ha mantenuto ''La sfida è quella di trovare soluzioni pratiche che farà in modo che la comunità artistica continui a trovare una casa nella città di Melbourne nel futuro"[62].

Nel 2008 invece si redige un nuovo rapporto "Future Melbourne. Una città audace, ispiratrice e sostenibile" è un piano per far crescere Melbourne come città globale e come una delle prime dieci città più vivibili e sostenibili nel mondo. Gli obiettivi del piano sono far diventare Melbourne entro il 2020 una città per la gente, prospera, eco-city, conosciuta, creativa e connessa. Melbourne è dinamica, vive della sua diversità e dell'innovazione.

Entrando in merito dei sei obiettivi prefissati li riassumiamo inseguito:

- People, accessibile, inclusiva, sicura e rafforza e promuove salute e benessere, partecipante e socialmente giusta. Una città per la gente ha libertà politica e intellettuale e una cultura ricca e diversificata. In particolare:
    - un bel posto dove vivere
    - Comunità inclusiva
    - Comunità sana
    - Disegnata per le persone
    - Un posto conveniente dove vivere
    - Qualità degli spazi pubblici
    - Crescita nelle strutture e servizi della comunità
- Prosperous, presta un'attenzione globale con infrastrutture e servizi all'avanguardia, una forza lavoro altamente qualificata, una città che condivide le sue conoscenze e fornisce mentori alle imprese emergenti. Promuove

[62] K. Shaw, «Melbourne's Creative Spaces program: Reclaiming the 'creative city' (if not quite the rest of it),» *Science Direct,* vol. 5, n. 3, pp. 139-147, 2014.

connessioni e collaborazioni, attrae investimenti e visitatori a livello globale, è stimolante e sicura con un ricco calendario culturale. In particolare:

- Città globale
- Stimolazioni e sicurezza 24h
- Attrattiva per nuovi affari
- Sostegno per gli affari
- Città di eventi
- Un grande posto da visitare
- Cultura filantropica

❖ Eco-city, riduce la sua impronta ecologica per adattarsi ai confini del pianeta, le persone e le organizzazioni si adattano a un clima mutevole e agiscono volentieri per costruire un futuro sostenibile. La città ecologica ha un'alta qualità della vita e crescita economica adatta, adatta le tecnologie per preservare le risorse naturali per il futuro, controlla i rischi del cambiamento climatico ed è all'avanguardia nella gestione sostenibile dell'acqua. I punti essenziali sono:

- Zero emissioni
- La città come bacino d'utenza
- Efficiente sotto il profilo delle risorse
- Adatta ai cambiamenti climatici
- Vivere e lavorare in centri urbani densamente popolati

❖ Knowledge, ha una cultura che sostiene le sue istituzioni e i suoi servizi educativi, generando opportunità per riunire esperti, imprenditori e innovatori, il potere collettivo della mente e dell'esperienza guida la prosperità della città, la sua capacità di competere a livello globale e la qualità della vita di cui gode la sua gente.

- Generare innovazione dalla conoscenza
- Sinergie tra la città e le università
- Città dell'apprendimento
- Città online

❖ Creative, permette e incoraggia l'assunzione di rischi e l'iniziativa, abbraccia la storia e la cultura indigena, si basa sul suo patrimonio e sulla sua libertà, e

permette alle persone di sperimentare e di innovare. È audace e stimolante, promuove l'unicità e l'invenzione e dimostra la propria leadership.

- Assunzione dei rischi creativi
- Comunità creativa e vivace
- Celebrare la diversità
- Prosperità attraverso la creatività

❖ Connected, tutte le persone possono muoversi liberamente per comunicare e commerciare - a livello locale, regionale e globale - senza sacrificare i valori sociali o ecologici essenziali. Una rete integrata ed economica di trasporti pubblici, strade e percorsi per pedoni, biciclette e veicoli a motore permette ai suoi abitanti di accedere al commercio e ai servizi, essenziale per la vita della città.

- Sistema di trasporto pubblico efficiente e integrato
- Città ciclabile
- Città camminabile
- Logistica urbana innovativa per il trasporto merci
- Guida in città intelligente
- Collegamenti di trasporto regionali e globali.

Le aree chiave della città che richiedono un'attenzione particolare per realizzare la visione del futuro di Melbourne[63].

Grazie a questa introduzione, sulla città di Melbourne e ai documenti consultati, si è scelto il secondo sito di progetto. Come descritto precedentemente il padiglione progettato per l'associazione Naomi Milgrom Foundation avrà una prima realizzazione nel parco Queen Victoria Gardens e successivamente verrà donato alla comunità di Melbourne.

[63] «Future Melbourne. A bold, inspirational and sustainable city,» Luglio 2008. [Online]. Available: www.futuremelbourne.com.au. [Consultato il giorno 2019].

Future Melbourne 2020

Figura 26 Futuri interventi Fonte: https://www.melbourne.vic.gov.au/

1 Southbank: Southbank è un'importante area residenziale in crescita all'interno della città di Melbourne, ed è sede di molte delle principali destinazioni culturali di Melbourne. I recenti miglioramenti si sono concentrati sulla riva del fiume. In futuro, si creeranno opportunità di migliorare l'ambiente pubblico e gli spazi aperti di Southbank.

2 Carlton e il sito della United Brewery: Il piano regolatore di questo sito rafforza Swanston Street come passerella centrale della città e propone la costruzione di sei nuovi grattacieli.

3 CBD: Il distretto della CBD continuerà a sostenere la crescita attraverso una serie di usi misti e attività di sviluppo.

4 Docklands: ospiterà in modo permanente più di 20.000 persone, 40.000 persone lavoreranno lì e nei suoi nove distretti accoglierà 20 milioni di visitatori all'anno.

5 Città centrale a sud-est: questo distretto offre l'opportunità di costruire ulteriori investimenti privati e per migliorare il collegamento fisico tra la città centrale e il corridoio fluviale.

6 Parkville: lo sviluppo futuro in questo distretto dovrebbe sostenere le opportunità di crescita dei settori ospedaliero, educativo e della ricerca, rispettando e sostenendo al contempo le comunità residenziali e i preziosi beni edilizi e di arredo urbano di Parkville.

7 Il porto di Melbourne: il porto di Melbourne è la porta commerciale internazionale dell'Australia. Si prevede una crescita futura sostanziale che richiede un'integrazione reti di trasporto e interscambi.

8 Ristrutturazione dell'edilizia pubblica di Carlton: riqualificazione per l'edilizia abitativa di tre edifici pubblici siti a Carlton, sostituendo le torri basse con un mix di appartamenti pubblici e privati. Il risultato sarà un ambiente di vita che rifletterà la diversità della comunità di Melbourne.

9 E-Gate: È in corso la pianificazione per trasformare questo sito di sviluppo ai margini occidentali della città centrale, vicino alla Stazione Ferroviaria di Melbourne Nord, in un importante sito strategico di riqualificazione.

10 Giardini di Parkville: è in fase di trasformazione in una comunità integrata che comprende alloggi privati e sociali. Il progetto è concepito per far parte di un'eredità di benefici sociali lasciati dall'ex Villaggio dei Giochi del Commonwealth.

11 Corridoi di crescita: St Kilda Road, Punt Road, Victoria Parade, Royal Parade e Flemington Road sono i principali assi di attività del comune con buone infrastrutture di trasporto pubblico e privato e con un mix di usi residenziali, culturali e commerciali. Queste strade hanno il potenziale per diventare corridoi ad alta intensità di attività urbana. Il risultato sarà un ambiente di vita che rifletterà la diversità della comunità di Melbourne.

Dall'analisi di questo piano di sviluppo si è determinato il luogo definitivo del progetto. Poiché la struttura temporanea è stata studiata e progettata per uno spazio verde pubblico, la scelta di Edinburgh Park (**E**) è stata dettata dalla sua posizione strategica rispetto agli assi principali di sviluppo del piano per le attività future di luoghi commerciali e culturali e dall'assenza in questo stesso di strutture pubbliche a disposizione degli abitanti che lo frequentano, nel paragrafo seguente vi saranno gli approfondimenti del sopralluogo e le motivazioni della scelta.

2.2.1. SOPRALLUOGO

Il primo intervento in loco è stato effettuare un sopralluogo nei Queen Victoria Gardens per analizzare e comprendere il contesto in cui viene inserito il progetto.

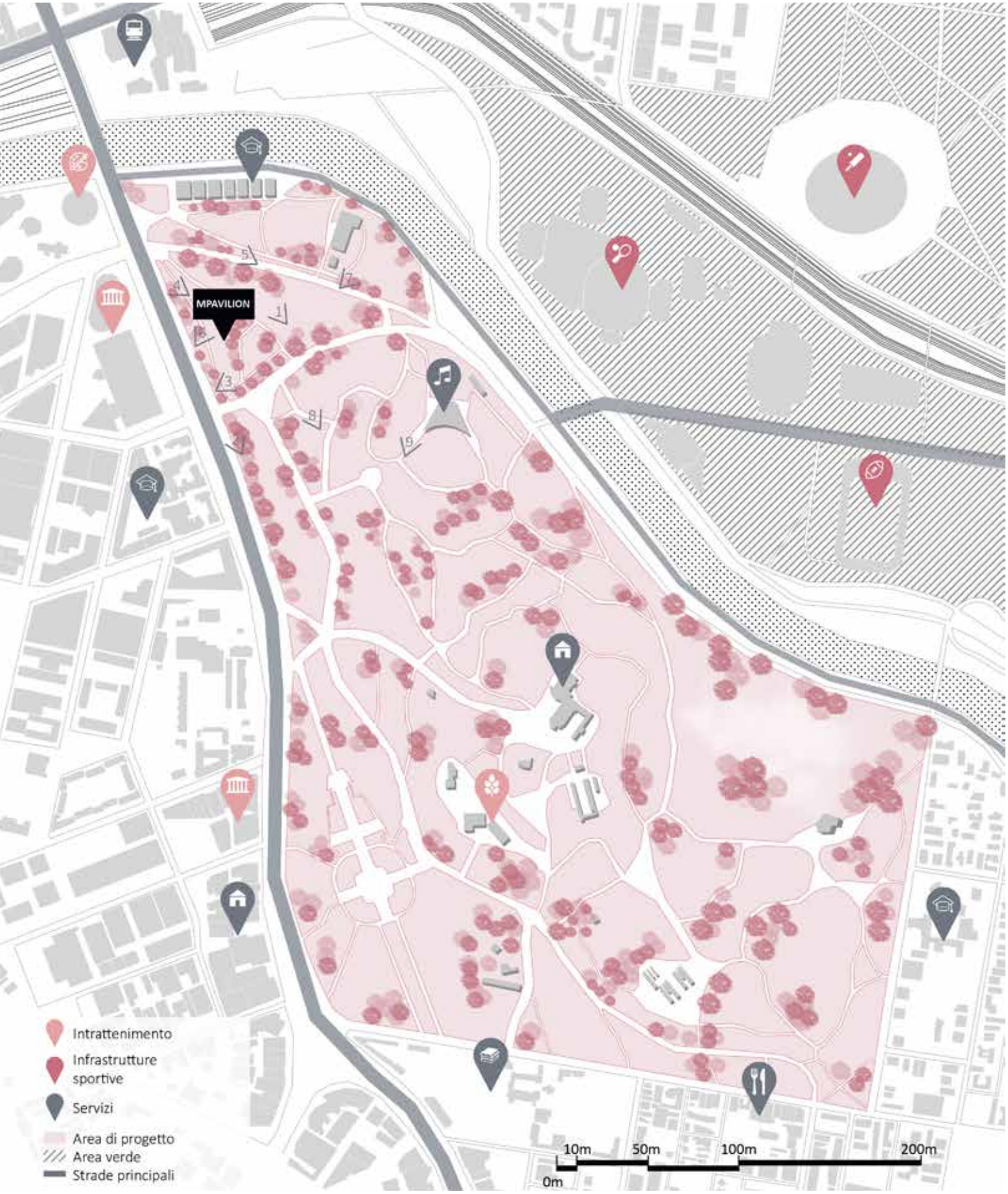
Il sopralluogo è stato effettuato in più giorni per poter cogliere più informazioni possibili e adeguate in modo tale da essere utili al nostro caso studio, sono stati effettuati rilievi fotografici, mappatura dei più importanti servizi e funzioni nell'area circostante la zona di progetto, infine sono state delineate viabilità e aree di accesso.

In seguito alla restituzione grafica della prima analisi, si sono svolte ricerche per l'individuazione del secondo sito di progetto, dove la struttura incontrerà la sua permanenza definitiva. La scelta del luogo è ricaduta su Edinburgh Park, dopo aver studiato gli interventi di *Future Melbourne* e dopo aver riflettuto insieme ai nostri tutor australiani sulle diverse possibilità.

Nonostante la diversità tra i due parchi sia evidente, troviamo tuttavia alcune similitudini che vale la pena nominare: l'area di progetto scelta per entrambi i parchi vanta di un'apertura ampia sulla città creando un ambiente unico sotto le luci dei grattacieli come sfondo; inglobano all'interno del loro perimetro una serie di attività che permette un afflusso di gente notevole la cui fascia di età è molto diversificata; una posizione strategica che garantisce una serie di servizi e funzioni attraenti; un'ottima accessibilità e viabilità, le quali permettono di non trovare ostacoli architettonici o impedimenti di vario tipo.

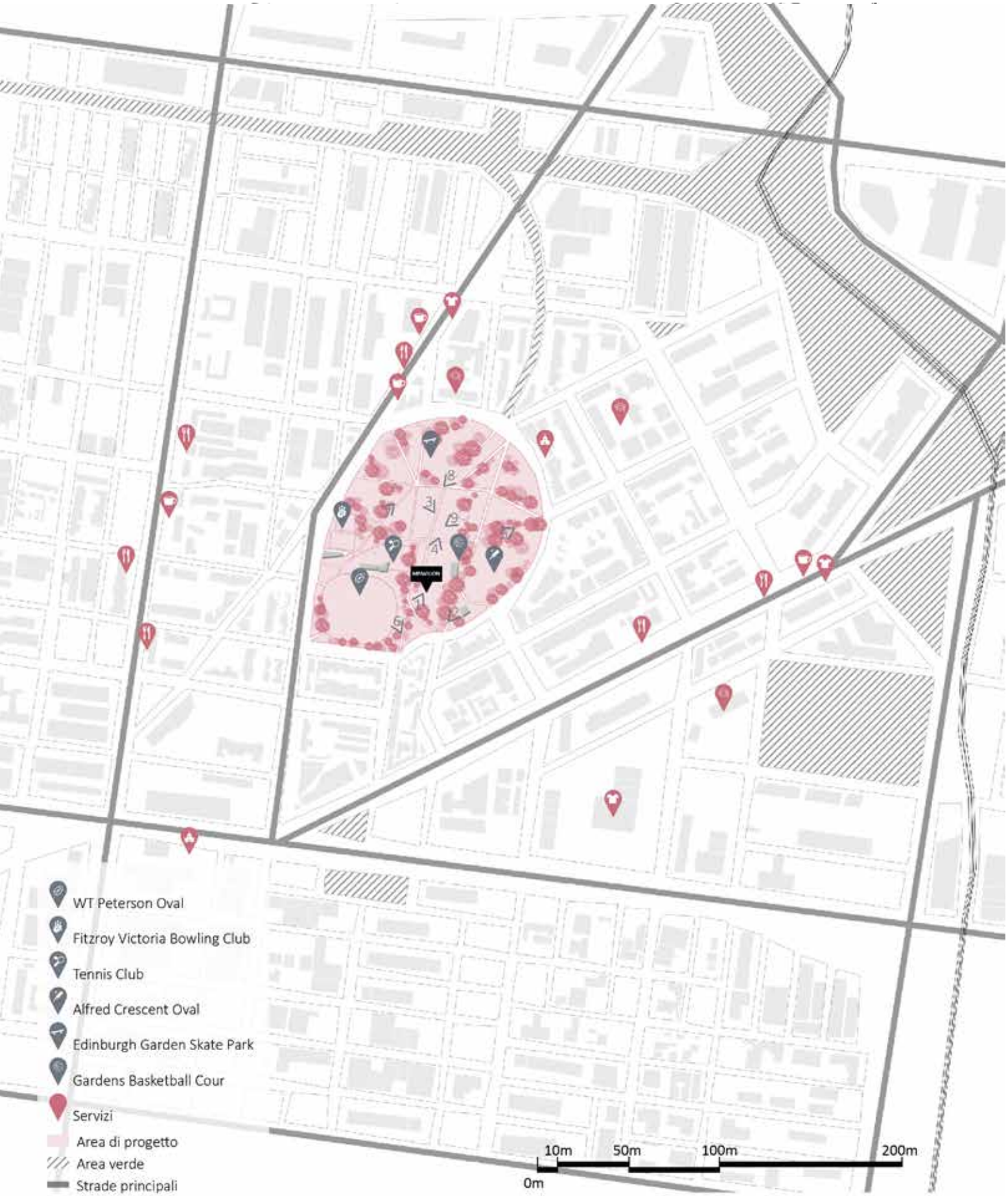
Tuttavia, la scelta di Edinburgh Park è stata definita per compensare le carenze che ad oggi riscontriamo nella vita di questo parco. Trovando al suo interno attività di tipo private viene utilizzato solamente come luogo di passaggio e non come un vero punto di incontro o di svago, inoltre grazie al nuovo piano attuativo di Melbourne per creare una città più connessa, culturale e comunitaria, si stima la crescita dell'asse stradale principale che delimita il parco grazie potenziamento di attività urbana e di servizi per la comunità nonché l'aumento di popolazione grazie alla riqualificazione del quartiere limitrofe.

Queen Victoria Gardens



Le viste | I percorsi | Le particolarità

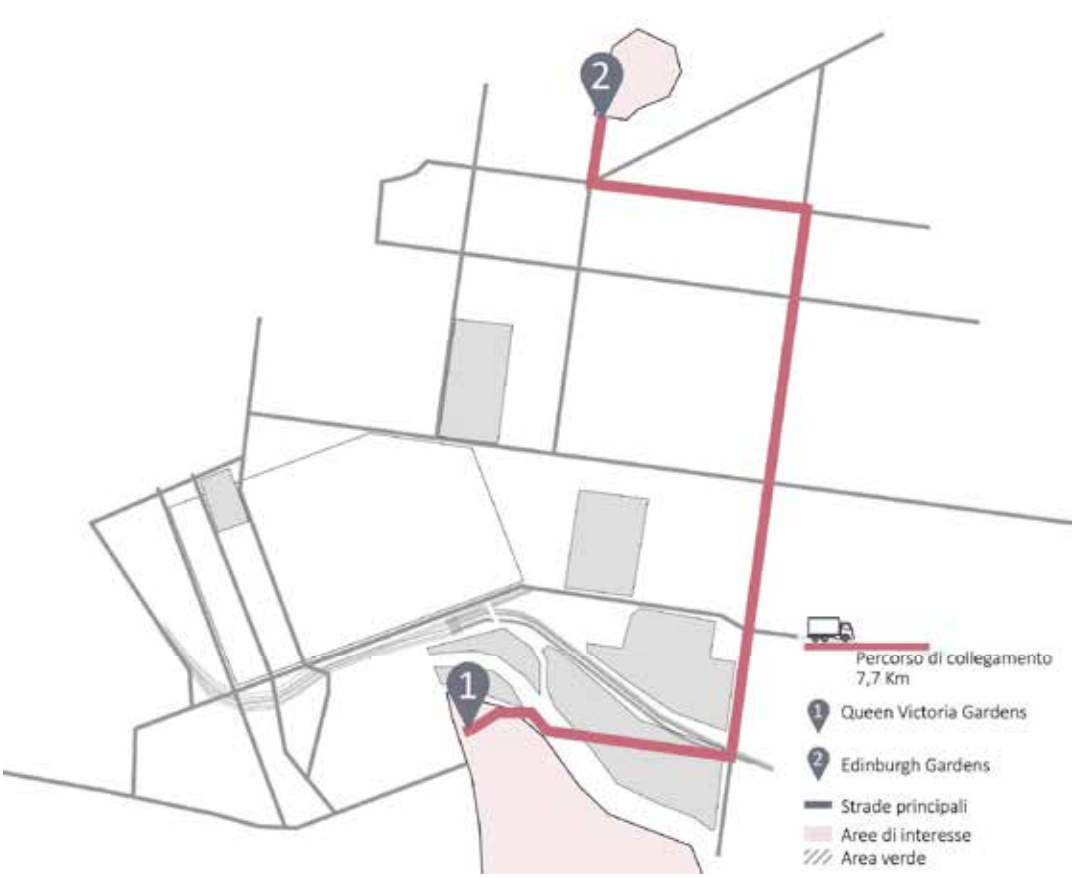
Edinburgh Park



Le viste | I percorsi | Le particolarità

Inserendo la struttura all'interno del parco si cerca di aumentare le attività libere, creare un luogo di sosta o riparo, un posto dove organizzare eventi di diverso genere e necessità attraverso la flessibilità dello stesso, permettendo di svolgere differenti attività e ospitando ogni target di età.

In seguito, uno schema delle due aree di intervento.



2.2.2. COLLABORAZIONE

In questo percorso la professoressa Nigra è stata indispensabile, grazie alle sue conoscenze a Melbourne abbiamo conosciuto ed iniziato una collaborazione con due professionisti molto importanti nella scena architettonica della città per i loro rinomati interventi. L'architetto Gerard Pinto, che ci ha accompagnato e guidato nell'interpretazione delle caratteristiche richieste dal concorso, il quale essendo privato non abbiamo avuto modo, nonostante i vari tentativi, di metterci in contatto direttamente con l'associazione o con i corrispettivi collaboratori.

L'ingegnere John Bahoric è stato fondamentale nel guidarci, attraverso i suoi suggerimenti, nel percorso di analisi effettuato oltreoceano. Ha saputo indicarci strutture similari al progetto in programma per capire la funzione strutturale, esaminare le tipologie di legno utilizzate e la loro giunzione, ci ha fornito una serie di indicazioni per comprendere come le università collaborino con le aziende e come queste si impegnano nel rispetto della sostenibilità e della ricerca.

Prima di arrivare alla definizione del progetto finale è stata sviluppata una prima proposta in Australia insieme ai due collaboratori, la quale non ha visto un proseguimento al seguito di considerazioni e riflessioni svolte una volta tornate in Italia insieme al nostro relatore.

Tuttavia, possiamo affermare che la collaborazione è stata molto stimolante ed esaustiva, sia dal punto di vista formativo sia dal punto di vista personale.

2.3. IL PROGETTO

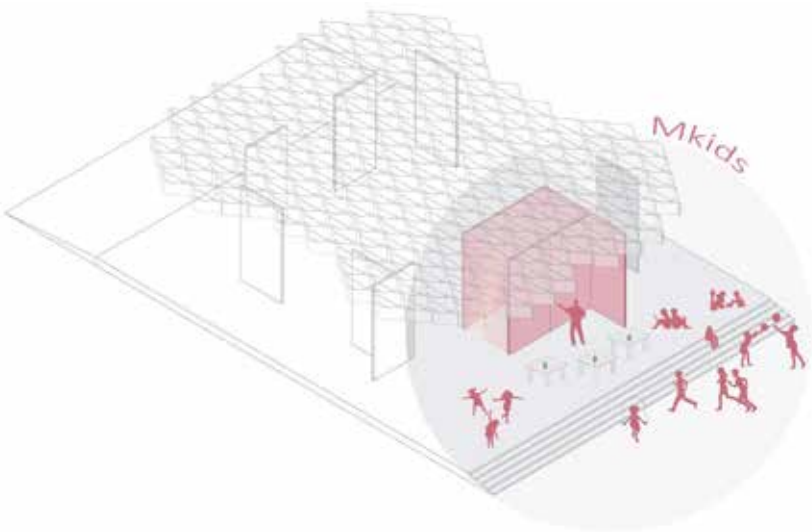
Il progetto ha seguito le linee guida del concorso identificate dalle strutture precedentemente realizzate della fondazione Naomi Milgrom e dalle analisi svolte sulle strutture temporanee in legno, di diverso genere ed utilizzo, del primo paragrafo. Questo studio ci ha permesso quindi di indagare sulla funzionalità, sulla forma e sulle modalità di assemblaggio dei diversi componenti.

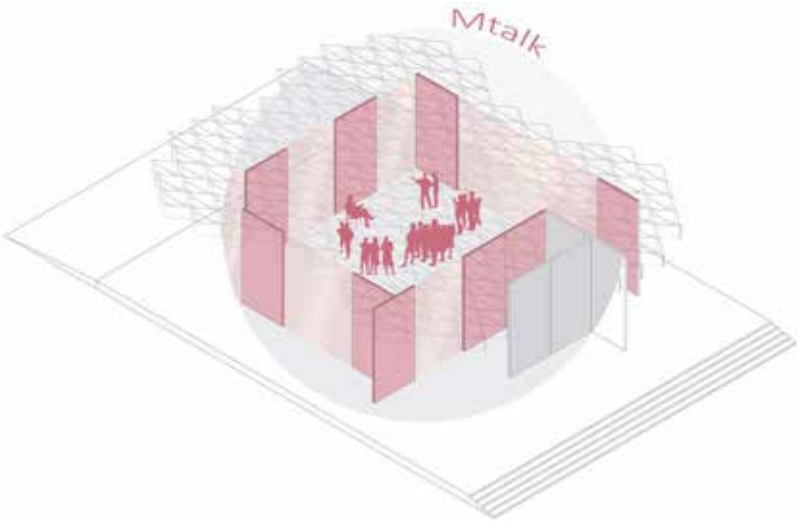
La progettazione del padiglione è stata avviata dallo studio di una forma geometrica semplice e dalla volontà sperimentare attraverso l'utilizzo di componenti ingegnerizzati in legno come soluzione strutturale e formale. In particolare, è stata sviluppata una struttura di copertura dall'impronta alveolare che si è evoluta, in seguito ad una rielaborazione, in quella che oggi si riscontra come una forma ondulata dai moduli ripetuti, permettendo alla luce di attraversare le superfici, più o meno intensamente a seconda della posizione. Questo è consentito dai pannelli di compositi in fibra di vetro, i quali sono stati posizionati strategicamente per permettere alle attività che avverranno all'interno della struttura, inteso come spazio circoscritto dai setti e dalle tende in tessuto fonoassorbente inserite lungo gli assi degli stessi, di garantire in ogni eventualità metereologica di svolgere le funzioni programmate.

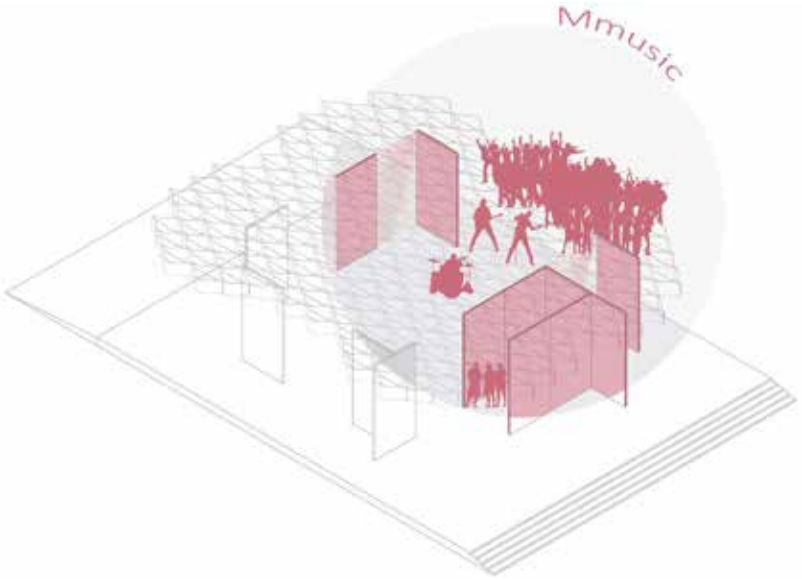
È stato opportuno comprendere come questa particolare struttura, ondulata e a sua volta divisa in moduli, potesse creare un sistema statico adeguato alla sua realizzazione. A tal fine sul modello geometrico si sono svolte le analisi strutturali tramite il software ProSap per definire e ottimizzare i sistemi di giunzione e la stabilità dell'insieme.

2.3.1. STRATEGIE E SCELTE PROGETTUALI

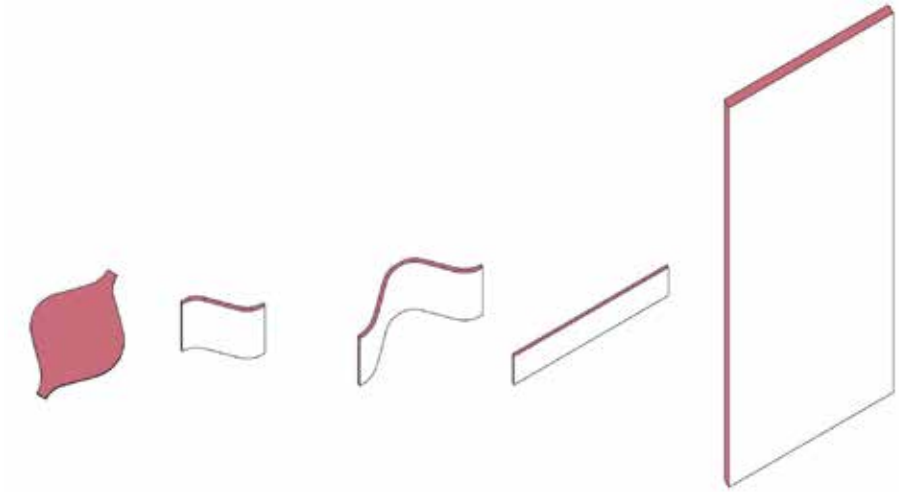
Flessibilità





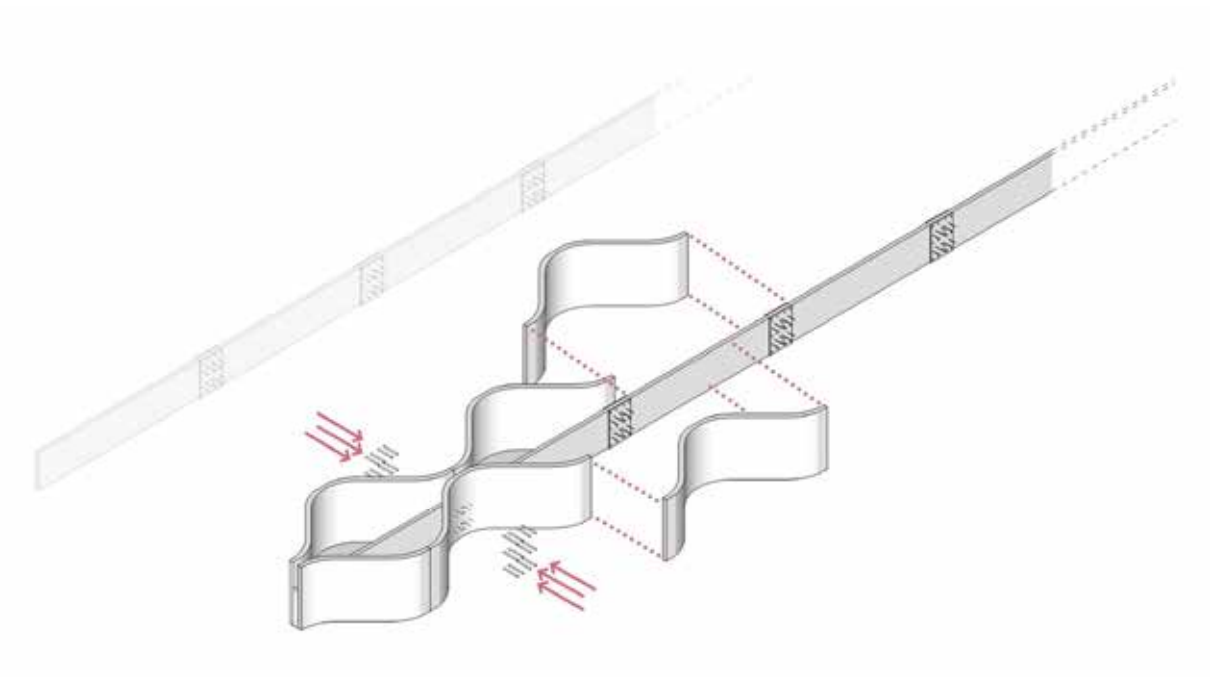


Modularità



Quantità:	190	30	250	27	13
Spessore:	1cm	3cm	3cm	4cm	10cm

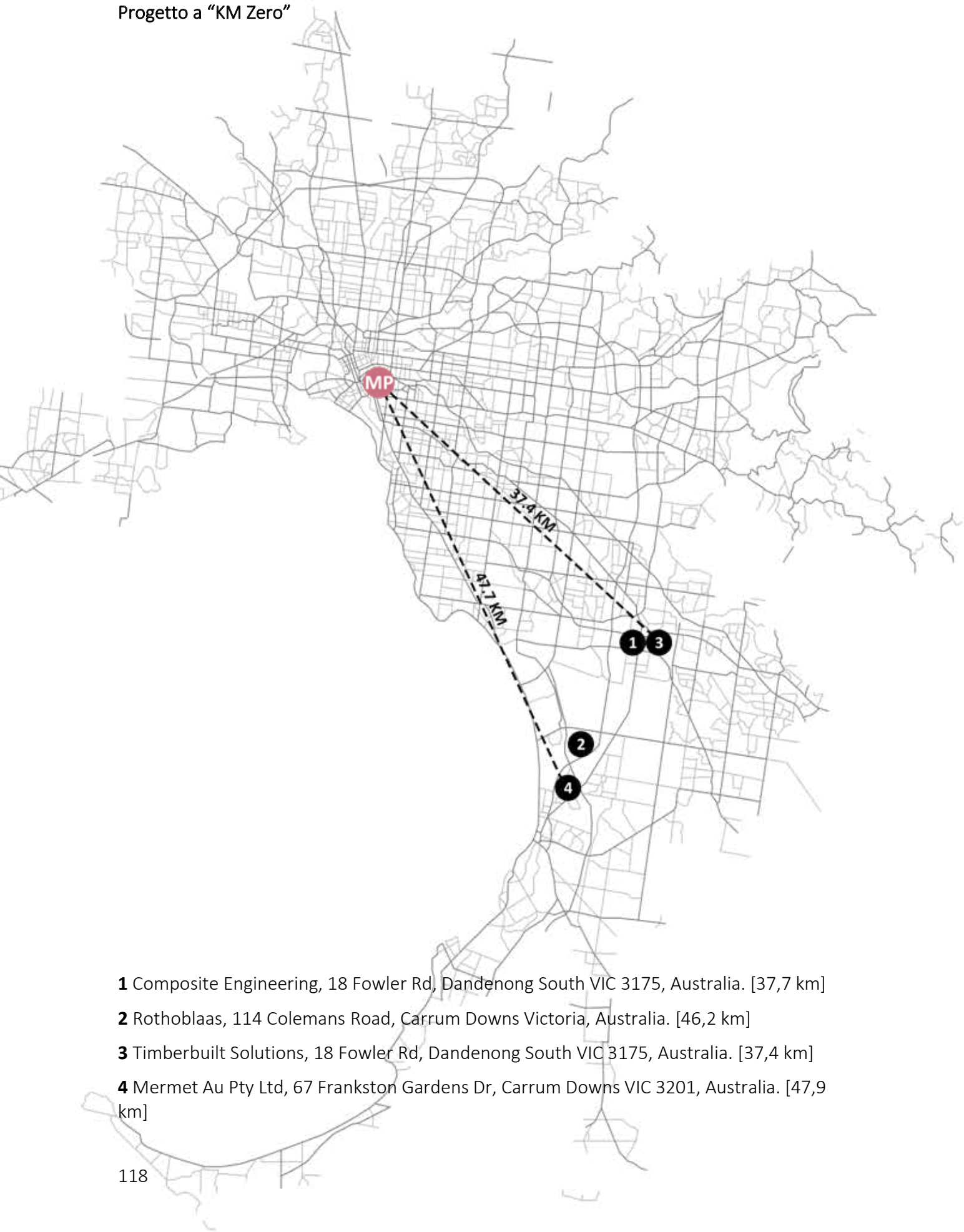
Assemblaggio a secco



Riuso

Sostenibilità

Progetto a “KM Zero”



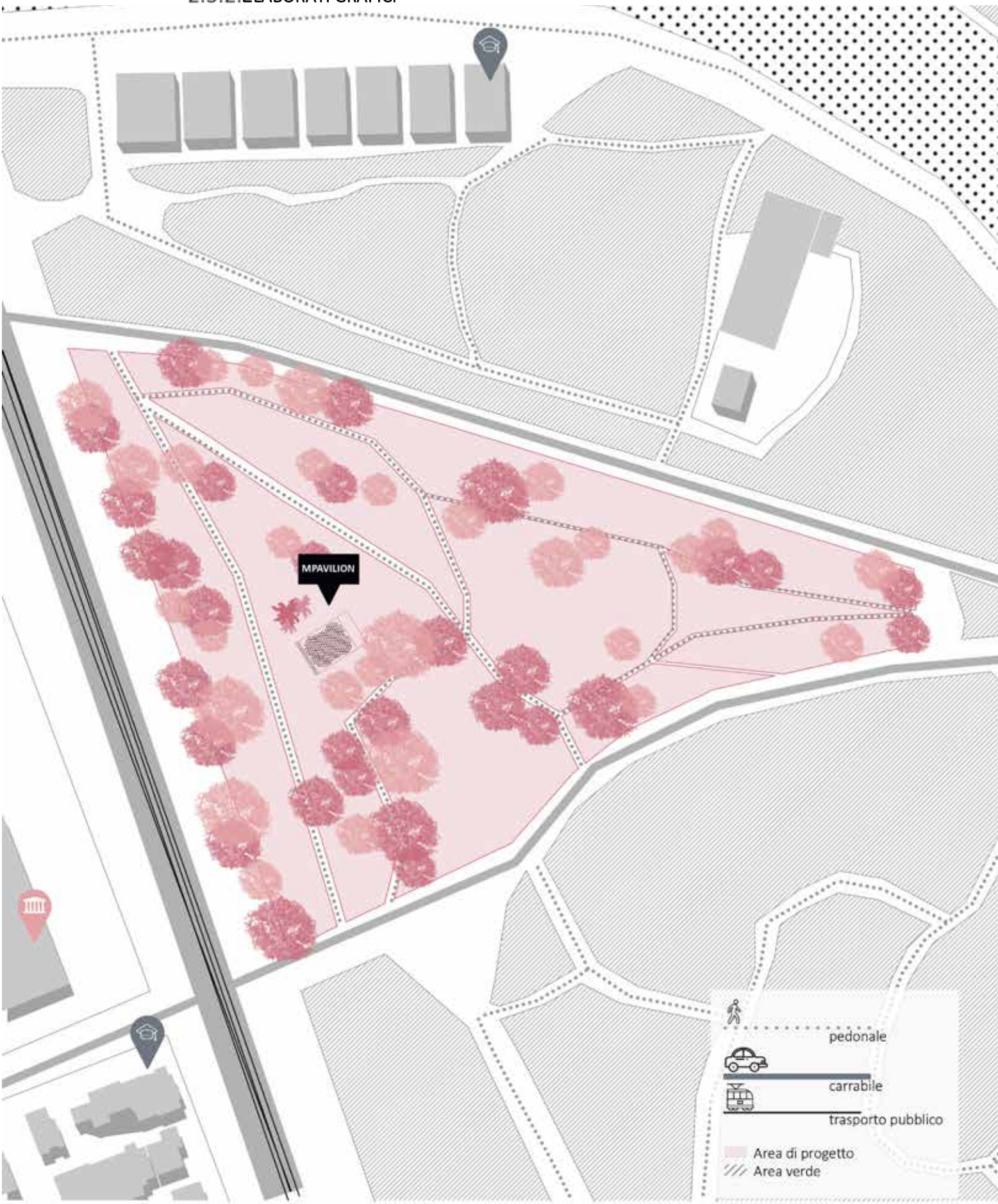
1 Composite Engineering, 18 Fowler Rd, Dandenong South VIC 3175, Australia. [37,7 km]

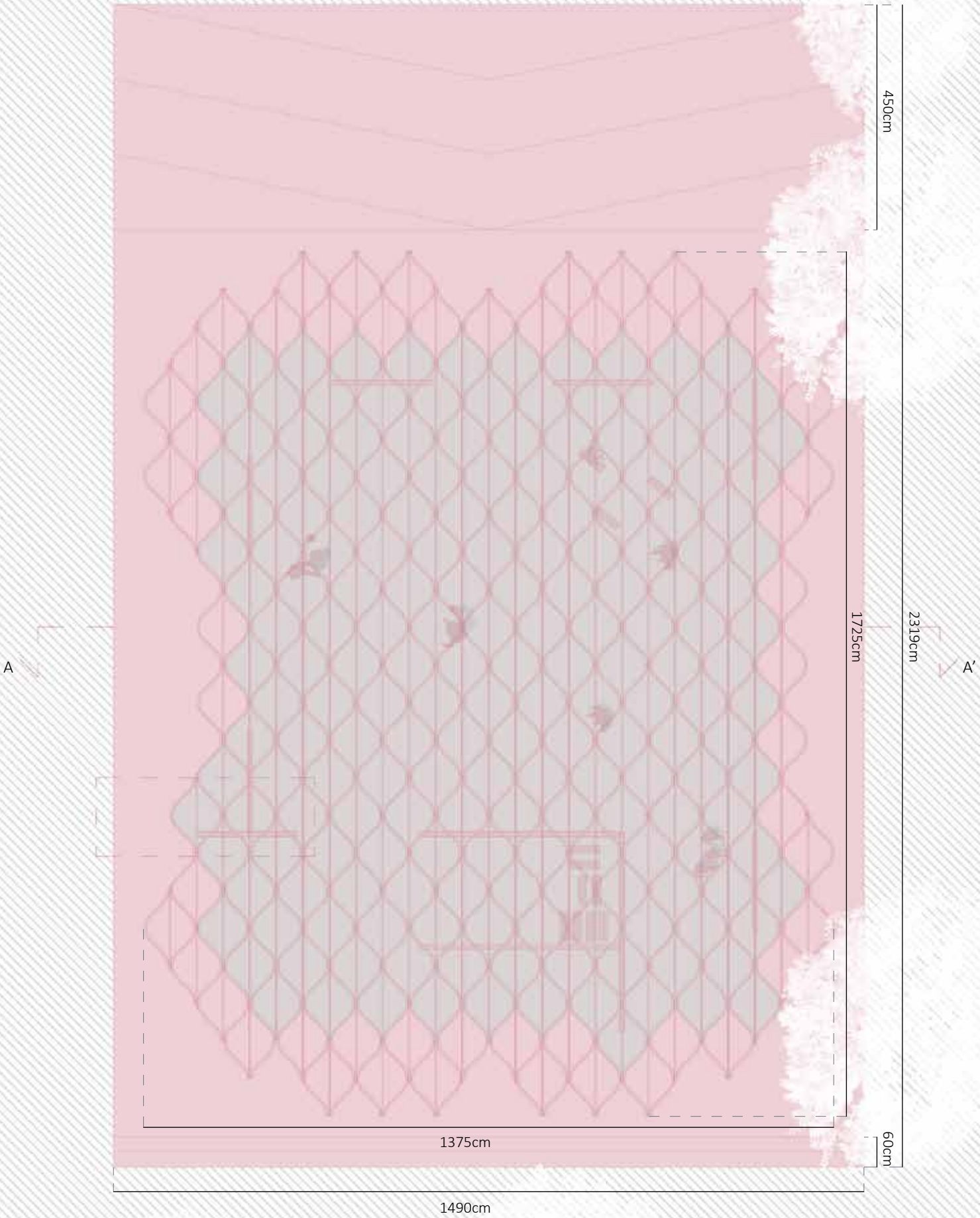
2 Rothoblaas, 114 Colemans Road, Carrum Downs Victoria, Australia. [46,2 km]

3 Timberbuilt Solutions, 18 Fowler Rd, Dandenong South VIC 3175, Australia. [37,4 km]

4 Mermet Au Pty Ltd, 67 Frankston Gardens Dr, Carrum Downs VIC 3201, Australia. [47,9 km]

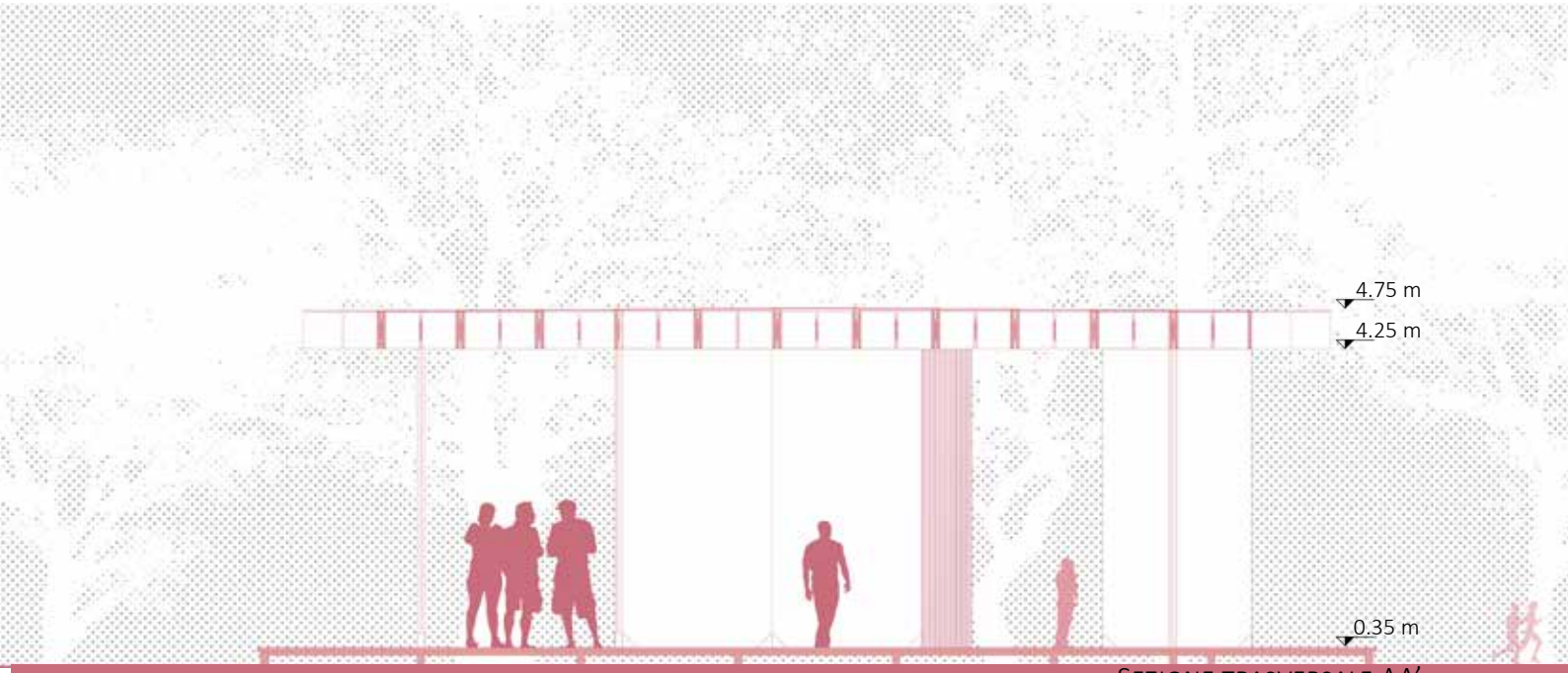
2.3.2. ELABORATI GRAFICI





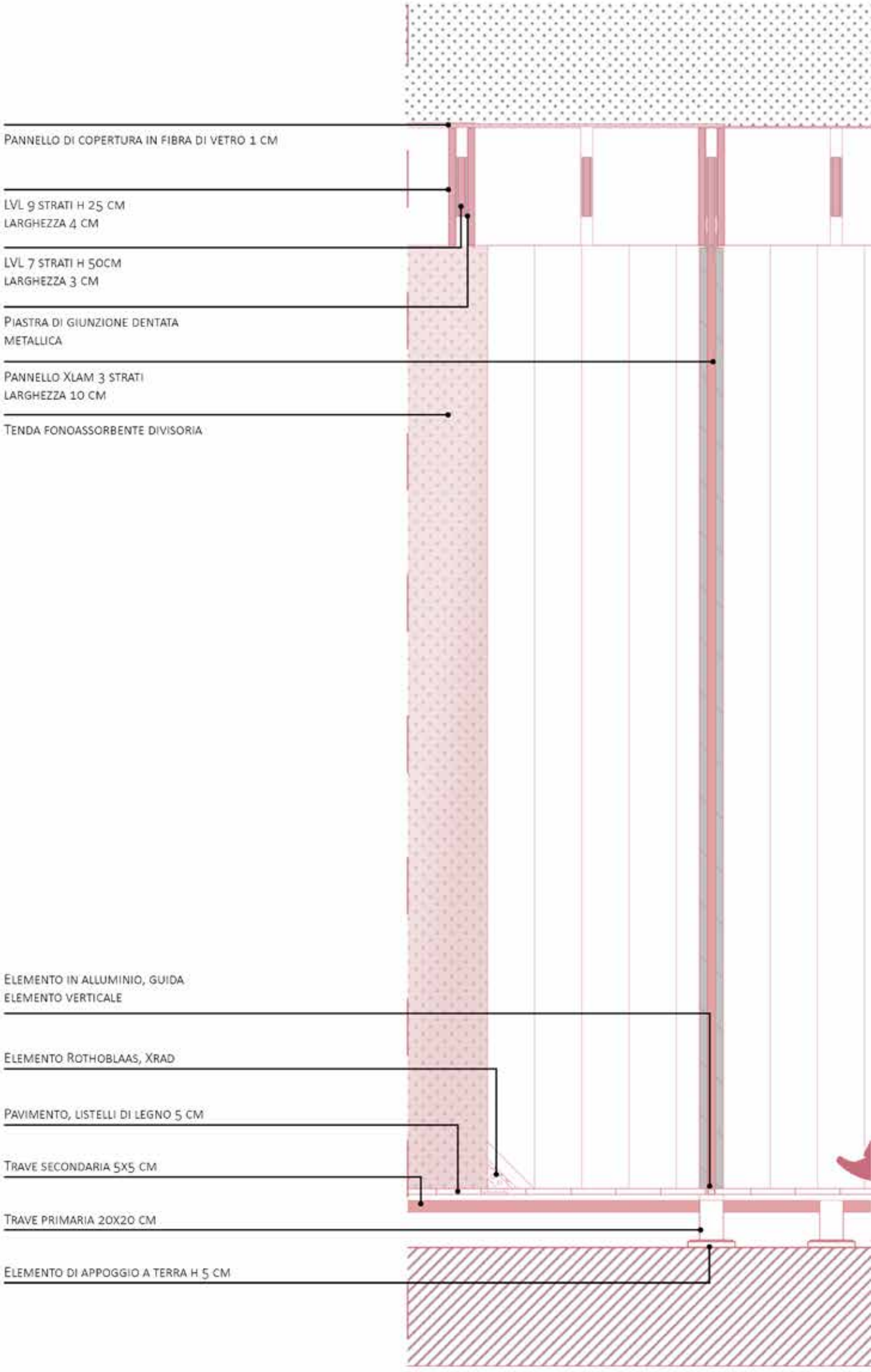
PIANTA COPERTURA

1_100



SEZIONE TRASVERSALE AA'
1_100

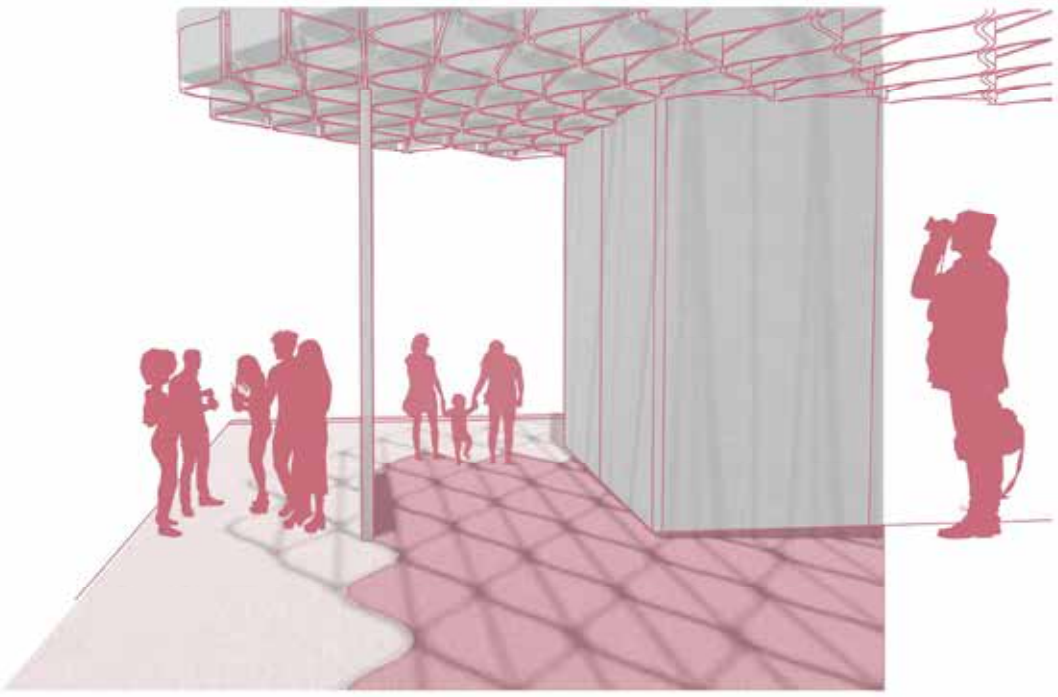
PIANTA
1_100


Pannello di copertura in fibra di vetro 1 cm
LVL 9 strati h 25 cm
larghezza 4 cm
LVL 7 strati h 50cm
larghezza 3 cm
Piastra di giunzione dentata
metallica
Pannello XLAM 3 strati
larghezza 10 cm
Tenda fonoassorbente divisoria
Elemento in alluminio, guida
elemento verticale
Elemento Rothoblaas, XRAD
Pavimento, listelli di legno 5 cm
Trave secondaria 5x5 cm
Trave primaria 20x20 cm
Elemento di appoggio a terra h 5 cm

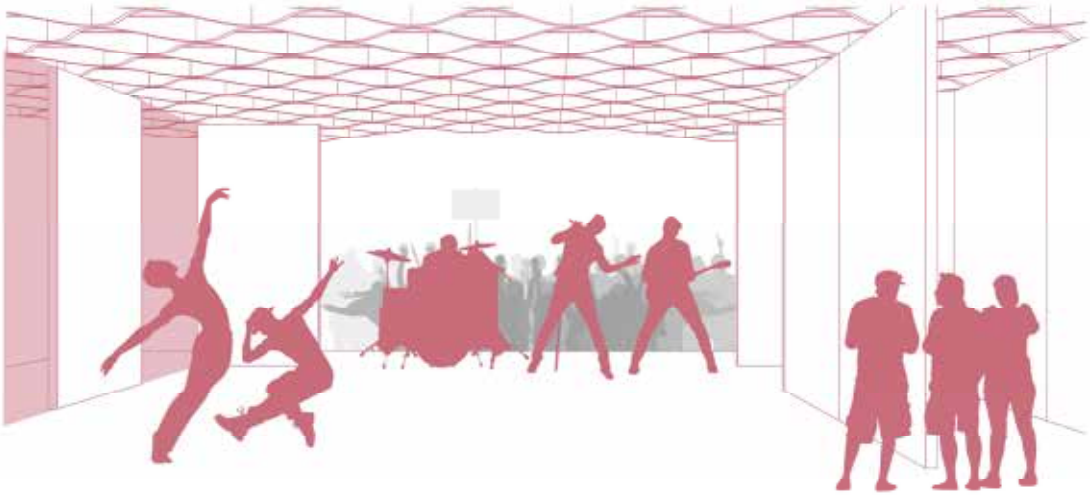
SEZIONE TECNOLOGICA

1_20

Viste interne al padiglione



VISTA PROSPETTICA LATERALE
GIOCO DI LUCI ED OMBRE DELLA COPERTURA



VISTA PROSPETTICA INTERNA
SCENA PALCOSCENICO

2.3.3. I MATERIALI UTILIZZATI

Il legno è forte, leggero e flessibile, rendendo le costruzioni in legno semplici e sicure rispetto alle alternative comuni. Scegliere il legno significa che non c'è bisogno di fare i conti con il sollevamento di carichi pesanti e le gru di grandi dimensioni per fissare i materiali in cantiere, rendendo i cantieri un luogo di lavoro più sicuri. Inoltre, quando si lavora con il legno, la gamma di prodotti in legno può essere modellata e lavorata in cantiere, offrendo un vantaggio significativo per la gestione del progetto e i tempi di consegna.

I progressi della tecnologia moderna consentono un'installazione rapida e precisa dei prodotti in legno ingegnerizzati come i membri LVL. I produttori specializzati utilizzano una prefabbricazione ad alta tecnologia che garantisce la precisione e assicura una costruzione rapida. I sistemi di costruzione prefabbricati in LVL possono essere utilizzati per edifici commerciali a più piani e industriali a portale a lunga campata incorniciati.

Al contrario, molti materiali da costruzione alternativi come l'acciaio devono essere fabbricati e finiti in fabbrica e poi acquistati in cantiere per il montaggio. Nella maggior parte dei casi è necessaria la saldatura e la rettifica in cantiere, creando così ulteriori problemi di sicurezza del cantiere da affrontare, come il pericolo di incendio. Mentre l'LVL può essere assemblato di solito con raccordi standard come chiodi e bulloni, l'acciaio richiederà un appaltatore specializzato in loco, aggiungendo costi e tempo a qualsiasi progetto.

In breve, il legno offre un'efficienza e una flessibilità che le alternative comuni come l'acciaio non possono eguagliare. Materiali come l'acciaio richiedono generalmente più attrezzature, più appaltatori e la fabbricazione e la finitura fuori sede, che alla fine equivalgono ad un aumento dei costi di manodopera e del tempo.

L'energia incorporata descrive l'energia consumata nel fornire i materiali per la costruzione degli edifici. Comprende l'estrazione e la lavorazione delle materie prime, insieme ai processi di produzione, trasporto e consegna dei prodotti. L'energia incorporata di solito proviene da combustibili fossili e può essere una componente significativa del consumo energetico totale del ciclo di vita di un materiale.

Generalmente, più un materiale è altamente trattato e più alta è la sua energia incorporata.

L'energia incorporata di un edificio può essere ridotta utilizzando materiali naturali disponibili localmente, che sono sia durevoli che riciclabili, con un design che incorpora componenti facili da recuperare e riutilizzare, all'interno di una struttura che è facile da smontare e rimontare.

Il legno può creare edifici a basso consumo energetico. Spesso è disponibile localmente ed è naturale, durevole e riciclabile. La sua versatilità e la sua leggerezza lo rendono facile da smontare, recuperare, riutilizzare e/o riciclare[64].

Il Cross Laminated Timber (CLT) è il legno ingegnerizzato del futuro e sta trasformando in realtà la costruzione di interi edifici in legno. Sviluppato per la prima volta in Svizzera negli anni Settanta, il CLT è un'estensione della tecnologia iniziata con il compensato e può essere meglio descritta come "compensato jumbo".

Avendo guadagnato popolarità in Europa, il CLT - chiamato anche "tilt up wood" o "pannelli di legno prefabbricati" - viene lentamente adottato in modo più diffuso come valida alternativa alle pratiche edilizie più tradizionali.

Gli strati di legno, noti come lamelle, sono incollati insieme con la venatura che si alterna ad angoli di 90 gradi per ogni strato. Le venature degli strati esterni scorrono longitudinalmente, dando una resistenza ottimale. Il CLT è prodotto in modo simile al legno lamellare, ad eccezione del fatto che il legno lamellare è stratificato con la venatura.

La laminazione incrociata degli strati di legno impiallacciato migliora le proprietà strutturali del legno distribuendo la resistenza della venatura del legno in entrambe le direzioni, e questo significa che i pannelli in CLT possono essere utilizzati per formare pavimenti, pareti e tetti completi.

Anche se il CLT è un prodotto in legno, non dovrebbe essere considerato come un prodotto con struttura in legno - è un prodotto di pannelli in legno che in realtà ha caratteristiche simili a quelle di un pannello prefabbricato in calcestruzzo. I vantaggi che

[64] «Wood Solutions,» [Online]. Available: https://www.woodsolutions.com.au/. [Consultato il giorno 2019].

questo offre ai nuovi edifici sono molto interessanti - i pannelli in legno sono molto più leggeri del cemento, più facili da lavorare e più facili da erigere.

Il potenziale del CLT come materiale da costruzione sostenibile si sta realizzando in tutto il mondo, è disponibile in Europa ed è entrato solo recentemente nel mercato nordamericano, mentre nel 2017 sono iniziati i lavori per un impianto di produzione in Australia[65].

Lay LightTM è un composito in fibra di vetro incollato con una matrice traslucida che permette alla luce di filtrare attraverso gli strati, rivelando la vera identità del materiale - stuoie e stuoie in fibra di vetro che servono sia come forti rinforzi per il prodotto che per il suo carattere estetico unico. Sono fabbricati utilizzando un processo chiamato pultrusione. Il processo di pultrusione è il modo più efficiente di produrre materiali rinforzati con fibre e garantisce una qualità costante e riproducibile.

Questo prodotto può essere utilizzato per molte applicazioni che vanno dalla produzione di mobili al sistema portante, fino alla progettazione di pannelli speciali che siano all'altezza dell'espressione di design desiderata [66].

La resistenza agli agenti atmosferici del composito in fibra di vetro è di per sé unica nel suo genere e rendono questo materiale durevole nel tempo. Il successivo rivestimento superficiale con protezione UV si traduce in una soluzione che mantiene il suo aspetto per decenni.

Il composito in fibra di vetro è in grado di fornire un'elevata resistenza al fuoco, il che significa che le soluzioni di profilo soddisfano gli standard di sicurezza antincendio.

Caratterizzato da un peso ridotto e facilità di lavorazione in loco. La bassa densità dei profili compositi li rende leggeri e semplici da montare. Inoltre, le modifiche sono facili da effettuare in cantiere, in quanto il materiale può essere lavorato con normali utensili elettrici e non necessitano di alcuna manutenzione[67].

---

[65] «Wood Solutions,» [Online]. Available: https://www.woodsolutions.com.au/. [Consultato il giorno 2019].

[66] «bimobject,» [Online]. Available: https://www.bimobject.com/.

[67] «FiberLine,» [Online]. Available: https://fiberline.com/.

2.4. GESTIONE DEL CANTIERE

Il modo in cui sono organizzati oggi i cantieri corrisponde, per molti versi, a modelli superati. La necessità di un caposquadra che legga e comprenda i piani di costruzione, e poi li colleghi con i componenti presenti, deve essere sostituita da un tipo di progettazione più forte e collaborativo. Per questo motivo, siamo interessati ai nuovi processi di pianificazione, di tecnologie, di sviluppo di utensili e di processi di giunzione manuali e robotizzati[68]. In particolare, l'utilizzo della metodologia BIM per affrontare l'organizzazione del cantiere ottimizza e amplia le modalità di analisi, massimizzando l'efficienza dell'operazione.

Il cantiere è caratterizzato da un continuo cambiamento nel tempo e dall'impiego di numerose competenze durante la realizzazione, diventando perciò una particolarità in ambito di gestione.

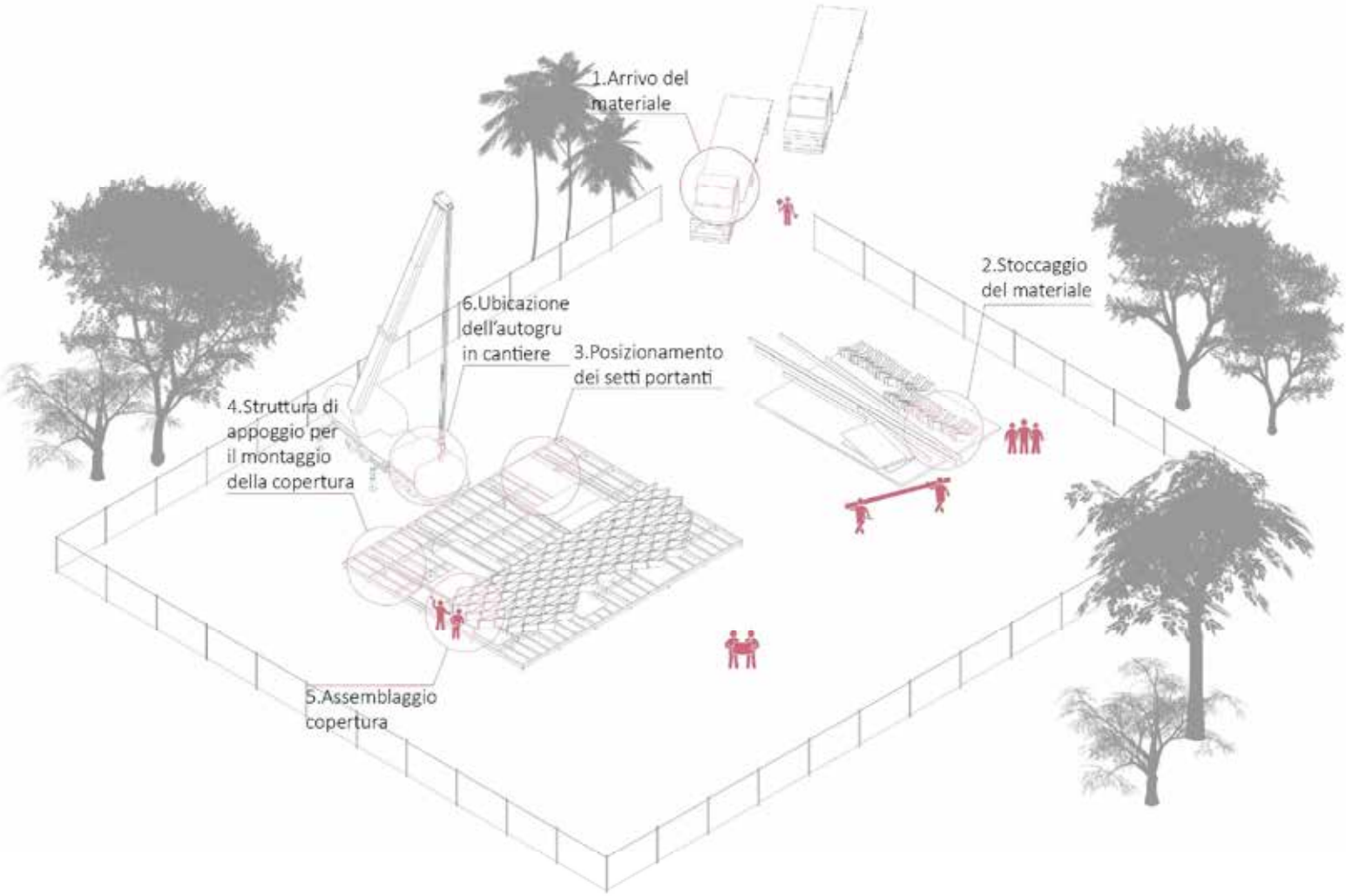
La dinamicità del cantiere e la presenza di diverse figure contemporaneamente, fanno in modo che diventi un luogo pericoloso, con conseguente prevedibilità di rischio per i lavoratori. Per questo si progetta sia inizialmente un'adeguata pianificazione delle lavorazioni in fase di progettazione, sia in fase di esecuzione uno sviluppo delle lavorazioni e delle attività nonché un aggiornamento continuo, il quale implica ulteriori imprevisti da valutare.

Specificamente nel progetto di tesi è stato valutato e studiato la fase di montaggio degli elementi, in quanto durante il processo di realizzazione non si evolvono fasi di lavorazioni sovrapposte e i carichi portati in cantiere, considerando la struttura in legno, non sono elevati, pertanto la sicurezza del cantiere è stata omessa[69].

---

[68] Y. Weinand, Advanced Timber Structures : Architectural Designs and Digital Dimensioning, Svizzera: Birkhauser Architecture, 2016.

[69] «BibLus-net,» [Online]. Available: http://biblus.acca.it/.



ASSONOMETRIA CANTIERE
FUORI SCALA

3. METODOLOGIA

3.1. WORK – FLOW

Come già anticipato, l'operazione riguarda l'utilizzo del BIM nel mondo della progettazione, pianificazione e realizzazione di opere edili, in particolare per quanto concerne la fase cantieristica.

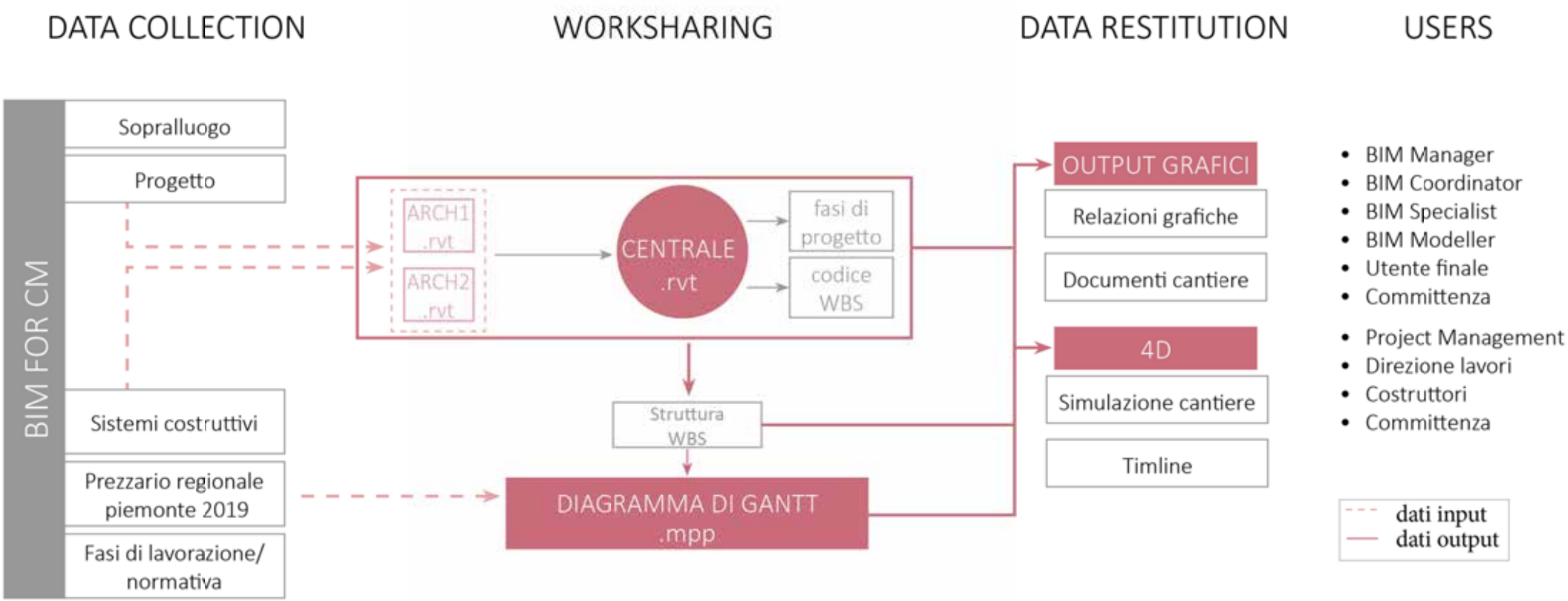
L'obiettivo è quello di organizzare e inserire tale fase fin dall'inizio, ovvero dalla pianificazione preventiva, attraverso una metodologia di lavoro che permetta di analizzare le fasi di realizzazione impiegando software di Bim e di pianificazione.

Impostando fin da subito le linee guida per un corretto approccio metodologico, sì ha la possibilità di ridurre problematiche future e in corso d'opera; di conseguenza, si ha come risultato un'impostazione di lavoro ottimale in termini qualitativi, e riguardo a tempistiche di produzione.

Il passaggio iniziale è costituito dalla modellazione di un sistema univoco rappresentante la struttura principale del padiglione, definita come modello unico centrale, e la successiva condivisione su una piattaforma di scambio dati in rete (worksharing). In questo modo i diversi attori hanno la possibilità di lavorare su differenti file locali, i quali vengono integralmente collegati al file centrale.

I nuovi software hanno la possibilità di interagire tra di loro creando un interscambio di dati, nel nostro caso, tra il modello BIM tridimensionale con il cronoprogramma delle lavorazioni, precedentemente elaborato tramite lo studio della WBS e lo sviluppo del diagramma Gantt. Questa capacità viene definita interoperabilità: l'obiettivo è dunque creare una sinergia tra i sistemi favorendo lo scambio di informazioni.

Di seguito si riporta l'iter del flusso di lavoro prestabilito.


DATA COLLECTION
WORKSHARING
DATA RESTITUTION
USERS
BIM FOR CM
Sopralluogo
Progetto
Sistemi costruttivi
Prezzario regionale piemonte 2019
Fasi di lavorazione/ normativa
ARCH1 .rvt
ARCH2 .rvt
CENTRALE .rvt
fasi di progetto
codice WBS
Struttura WBS
DIAGRAMMA DI GANTT .mpp
OUTPUT GRAFICI
Relazioni grafiche
Documenti cantiere
4D
Simulazione cantiere
Timline
BIM Manager
BIM Coordinator
BIM Specialist
BIM Modeller
Utente finale
Committenza
Project Management
Direzione lavori
Costruttori
Committenza
dati input
dati output

3.2. METODOLOGIA OPERATIVA

Avendo anticipato che, per una progettazione ottimale bisogna impostare una corretta metodologia di lavoro, si elenca in modo schematico la metodologia operativa utilizzata per la presente Tesi.

Le fasi operative per il raggiungimento dell'obiettivo prefissato sono le seguenti:

- Indagine conoscitiva, analisi del luogo;
- Elaborazione di scelte e strategie progettuali;
- Sistema di condivisione ad un modello centrale;
- Modellazione del modello parametrico architettonico tramite Autodesk Revit;
- Schedulazione del progetto tramite WBS;
- Redazione del codice per l'interoperabilità;
- Analisi delle tempistiche;
- Realizzazione del cronoprogramma attività tramite MSProject;
- Attribuzione dei codici interoperabili ad ogni attività del cronoprogramma;
- Importazione del modello 3D e del cronoprogramma su Naviswork;
- Realizzazione della simulazione virtuale del progetto.

3.2.1. BIM TOOLS

Si elencano i software in ordine di utilizzo, durante il flusso di lavoro, che hanno permesso il raggiungimento degli obiettivi prefissati:

REVIT 2018

Software Autodesk dedicato alla pianificazione, progettazione e processo di costruzione in Bim. Il programma garantisce un controllo totale del progetto, permettendo la collaborazione tra diversi utenti, definendo ruoli e responsabilità all'interno di un team.

MICROSOFT EXCEL

Prodotto Microsoft utilizzato per l'organizzazione di dati, nonché tabulazione dei componenti dell'opera. Gestione di fogli elettronici con formule preimpostate per identificare le tempistiche relative alle singole attività del processo produttivo.

MICROSOFT PROJECT

Strumento Microsoft per la gestione della pianificazione e schedulazione dei progetti. Il software ha permesso la redazione di cronoprogrammi delle attività per favorire la verifica del rispetto dei tempi.

NAVISWORK MANAGE 2018

Software Autodesk finalizzato al coordinamento dei progetti in BIM. Interoperabilità con altri programmi che ha garantito la verifica della fase cantieristica tramite simulazione virtuale.

3.3. IL MODELLO PARAMETRICO ARCHITETTONICO

Come primo step è opportuno comprendere i concetti basilari di Revit per riuscire ad apprendere la struttura, la logica dei comportamenti e l'intero ambiente di lavoro.

La vera peculiarità di questo strumento è data dal fatto che si tratta di un software attraverso il quale si può avere una vera e propria ricostruzione virtuale del progetto. La progettazione tramite Revit porta non solo ad una semplice rappresentazione del modello tridimensionale, ma ad una raccolta di informazioni, denominati parametri, relativi ad ogni componente del progetto, i quali gli consentono di relazionarsi e interagire tra loro.

Come già anticipato, il modello parametrico è un file che contiene tutte le informazioni necessarie per sviluppare un nuovo progetto. In base alle finalità desiderate, si sceglie la tipologia di modello, il quale si divide in modello architettonico, strutturale e meccanico (MEP), per ottimizzare il processo progettuale. Nel nostro caso di tesi, si è deciso di interagire esclusivamente con il sistema architettonico, ritenuto esaustivo per l'obiettivo da raggiungere.

3.3.1. CRITERI DI MODELLAZIONE

Nel modello BIM possono convergere numerose informazioni ed è importante quindi che risulti ben definito il livello di dettaglio richiesto, sia per dati grafici, che di attributi. Questa scelta si presenta anche davanti alla committenza, in modo tale da determinare il grado più idoneo alle proprie necessità e rendere più chiaro il lavoro all'interno del team di professionisti.

Per il nostro caso, si è cercato di limitare il livello di sviluppo degli elementi ad uno standard di LOD 200, valutato in base alle finalità del modello. Tenendo in considerazione gli obiettivi della rappresentazione BIM si è constatato che il LOD 200 permette di rendere chiari l'individuazione degli elementi architettonici, gli attributi utili, le quantità e la fase di produzione a cui si legano.

La finalità della tesi è lo studio della fase cantieristica, quindi si è scelto il LOD 200, in quanto definisce il modello contenente sistemi generalizzati con dimensioni, forme, quantità e disposizione in modo approssimativo.

3.3.2. ELEMENTI DEL PROGETTO ARCHITETTONICO

Ogni elemento utilizzato per la redazione di un modello con Revit fa parte di una "famiglia". La definizione più corretta, fornita da Autodesk, è la seguente:

> *"un gruppo di elementi con un insieme di proprietà comuni denominate parametri ed una rappresentazione grafica associata" (Simone Pozzoli, 2010).*

Nel dettaglio sono presenti tre tipologie di famiglie:

- Famiglia di sistema: si tratta di elementi che costituiscono i componenti basilari di un edificio, come muri, pavimenti o delle semplici scale. Autodesk consente una

minima personalizzazione dei parametri, questo perché la modellazione di base di un fabbricato si sviluppi entro determinati schemi per una facile gestione. Nel nostro caso studio un esempio di famiglia di sistema lo troviamo nelle partizioni portanti in CTL (famiglia muro di base);

- Famiglia caricabile: si tratta di tipologie di oggetti complementari alla costruzione, i quali soddisfano la necessità di avere una varietà di oggetti provenienti da aziende operanti nel mondo dell'architettura. Fanno parte di questa raccolta, ad esempio, sanitari, arredi ma anche travi prefabbricate e molto altro. Al contrario delle prime, le famiglie caricabili si trovano in librerie esterne al file di progetto, quindi di conseguenza importabili al suo interno nel momento della necessità.
- Famiglie locali: gli elementi che appartengono a questa macro-tipologia sono specifici del progetto; si tratta di componenti particolari, come ad esempio un arredo, con proprietà specifiche e su misura per il modello nel quale si sta lavorando. Rientra in questa classificazione in nostro componente curvo, il quale fa parte della copertura.

La possibilità di poter variare i valori assegnati ai parametri che editano e definiscono il componente, dà luogo ad un nuovo strumento logico che raggruppa queste varianti e viene chiamato tipo. Nello specifico i parametri presi in considerazione vengono definiti parametri tipo ed è possibile modificare i valori aprendo la finestra Proprietà dell'oggetto interessato e premere il tasto Modifica tipo[70]. Riprendendo l'esempio del pannello CTL, il parametro tipo definisce la differenza tra setto portante e setto di tamponamento.

[70] Simone Pozzoli, W. S. (2010). *Revit Architecture 2011. Guida avanzata.* Teniche Nuove

3.3.3. VERIFICA STRUTTURALE

Data la particolarità della struttura e la mancanza dalla metodologia BIM di effettuare una verifica statica precisa del padiglione si è avviata una collaborazione con l'azienda Galloppini Legnami, specializzata nello studio di strutture lignee, in particolar modo abbiamo avuto la possibilità di collaborare con l'Ing. Francesco De Pace e l'Ing. Martino D'alberto. L'azienda è in grado di affiancare i progettisti ottimizzare la risoluzione delle strutture lignee. Di rilevante importanza è il progetto da loro sviluppato per le pareti del Padiglione Giappone all'Expo 2015 di Milano, un graticcio tridimensionale di legno con un'alta versatilità applicativa.

In seguito al colloquio, dove sono state esposte le idee di progetto, è stato inserito nel Software PROfessional Structural Analysis Program il modello IFC da Revit, dimostrando un'interoperabilità ottimale tra i due software.

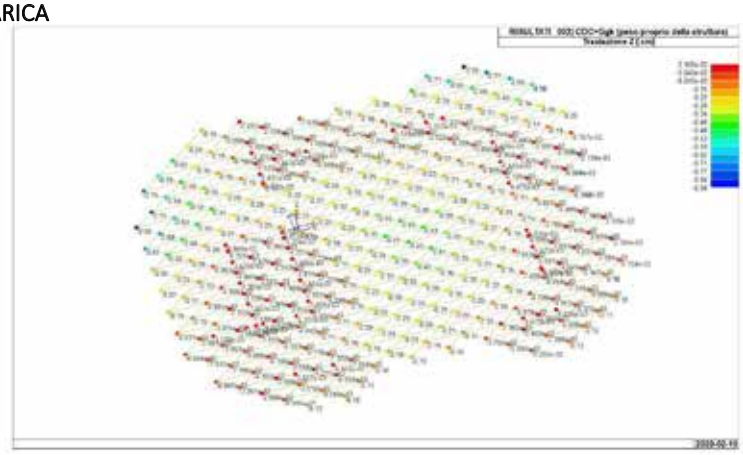
Attraverso l'inserimento delle caratteristiche di ogni nodo e le forze che agiscono su di essi, nonché il materiale utilizzato, è stato possibile verificare la stabilità della struttura. Il modello è stato analizzato in due diversi momenti: struttura scarica e struttura carica.

Alcune note: nel primo caso in corrispondenza dello sbalzo maggiore presente nella struttura troviamo una deformazione di 9mm, facilmente trascurabile e non comporta nessun tipo di danno alla struttura. Nel secondo caso, in cui la struttura viene caricata dal peso dei pannelli di copertura (20 N/mc), la deformazione aumenta a 141 mm, sempre nel caso peggiore, ma anche questa unità può essere trascurata. Dalle immagini che seguono si può notare come la campata centrale, la più deformata, induca una contro freccia della porzione a sbalzo.

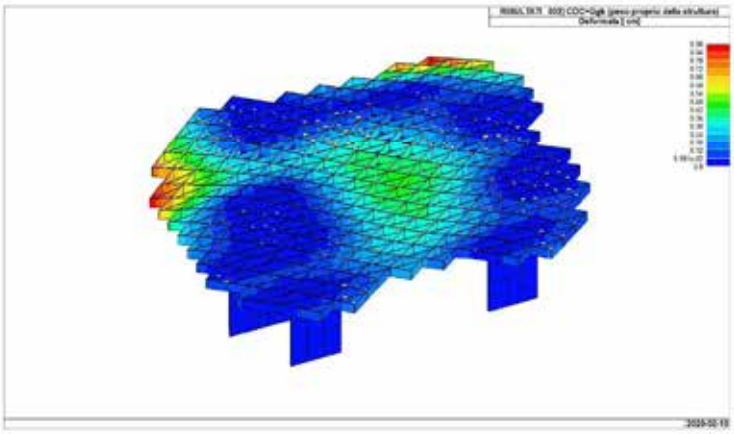
L'unica debolezza della struttura proviene da due elementi lineari, i quali non risultano verificati a svergolamento, per via della sezione molto snella e dal sovraccarico in corrispondenza dello sbalzo laterale. Essendo un problema locale può essere anche questo trascurato dato che le percentuali di sfruttamento degli altri elementi sono molto minori. La tendenza allo svergolamento dimostra essere il punto debole del padiglione, ma essendo i carichi ridotti il problema non sussiste, in caso contrario si sarebbe dovuto ricorrere ad aumentare in larghezza gli elementi.

STRUTTURA SCARICA

TRASLAZIONE Z

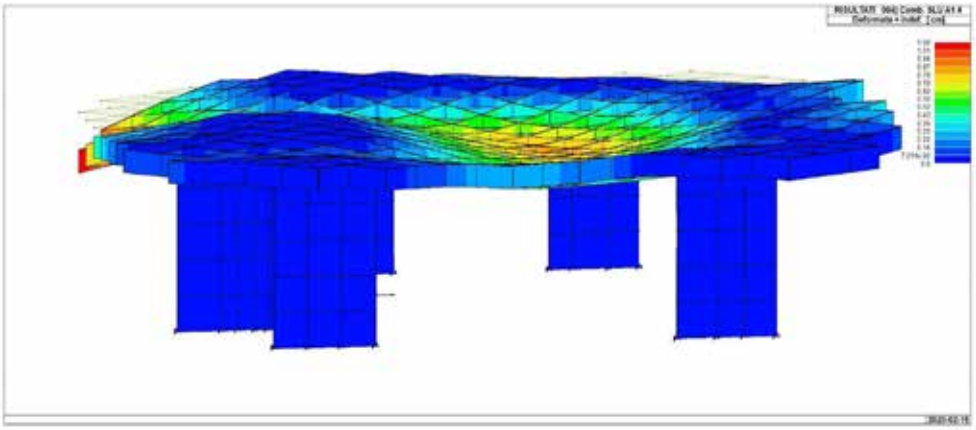


DEFORMATA

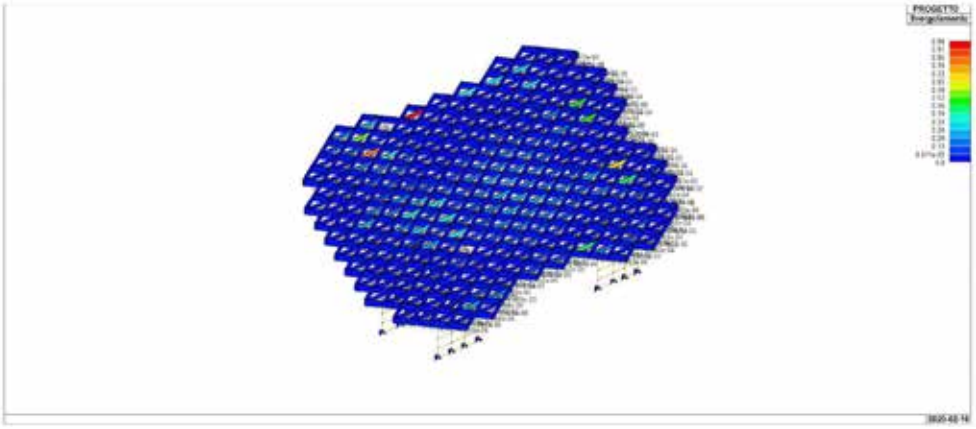


STRUTTURA CARICA

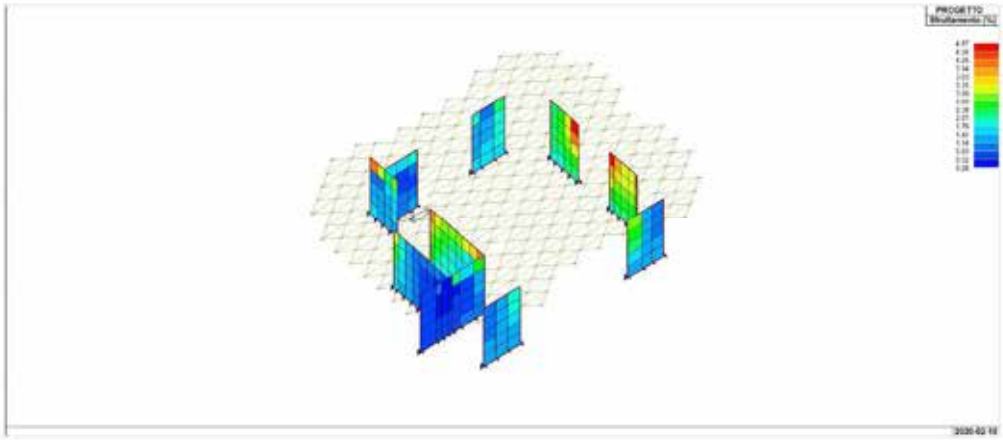
DEFORMATA



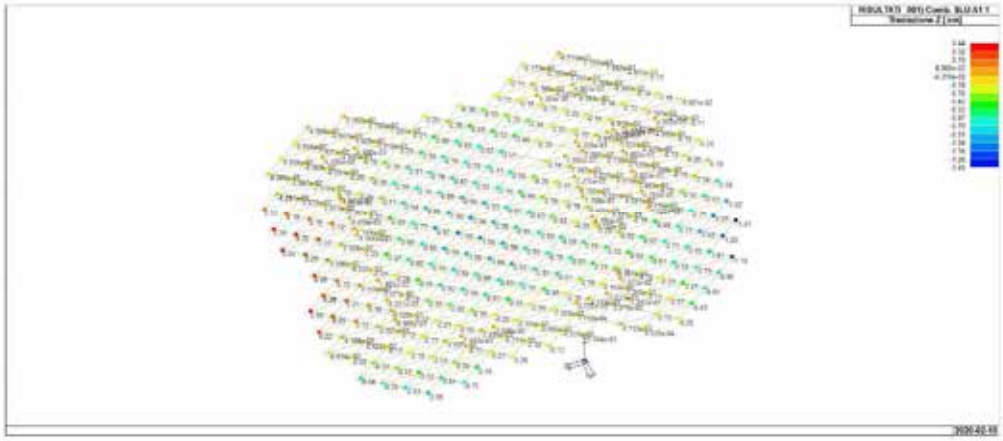
SVERGOLAMENTO



SFRUTTAMENTO SETTI IN X-LAM



TRASLAZIONE Z



3.4. LA QUARTA DIMENSIONE DEL BIM

Come precedentemente specificato, quando si parla di Construction management, si prendono in considerazione le dimensioni 4D e 5D.

Per quanto riguarda il processo seguito per la realizzazione del progetto in esame, abbiamo deciso di concentrarci sulla gestione dei tempi: inserire il Building Information Modeling nell'organizzazione della modellazione 4D porta numerosi vantaggi:

- Facilitare una collaborazione tra i vari personaggi che partecipano alla fase di cantiere;
- Suddivisione della progettazione in fasi ben definite e organizzate;
- Previsione della durata totale di una serie di lavorazioni;
- Avanzamento delle stesse attività durante il processo;

3.4.1. REDAZIONE DELLA WBS

Dopo aver definito il progetto, il passaggio successivo definisce la fase di pianificazione e programmazione. Per un controllo ottimale è necessario suddividere il lavoro in fasi omogenee, andando ad un livello di dettaglio maggiore in base agli obiettivi da raggiungere. Si parla, quindi, di definire la Work Breakdown Structure (WBS) del progetto architettonico preso in esame.

Il Project Management Institute (PMI2004) definisce la WBS come

> *"una scomposizione gerarchica orientata verso il deliverable del lavoro che deve essere eseguito dal gruppo di progetto per realizzare gli obiettivi del progetto e creare i deliverable richiesti. Organizza e definisce l'ambito complessivo del progetto" (Bragadin, 2011).*

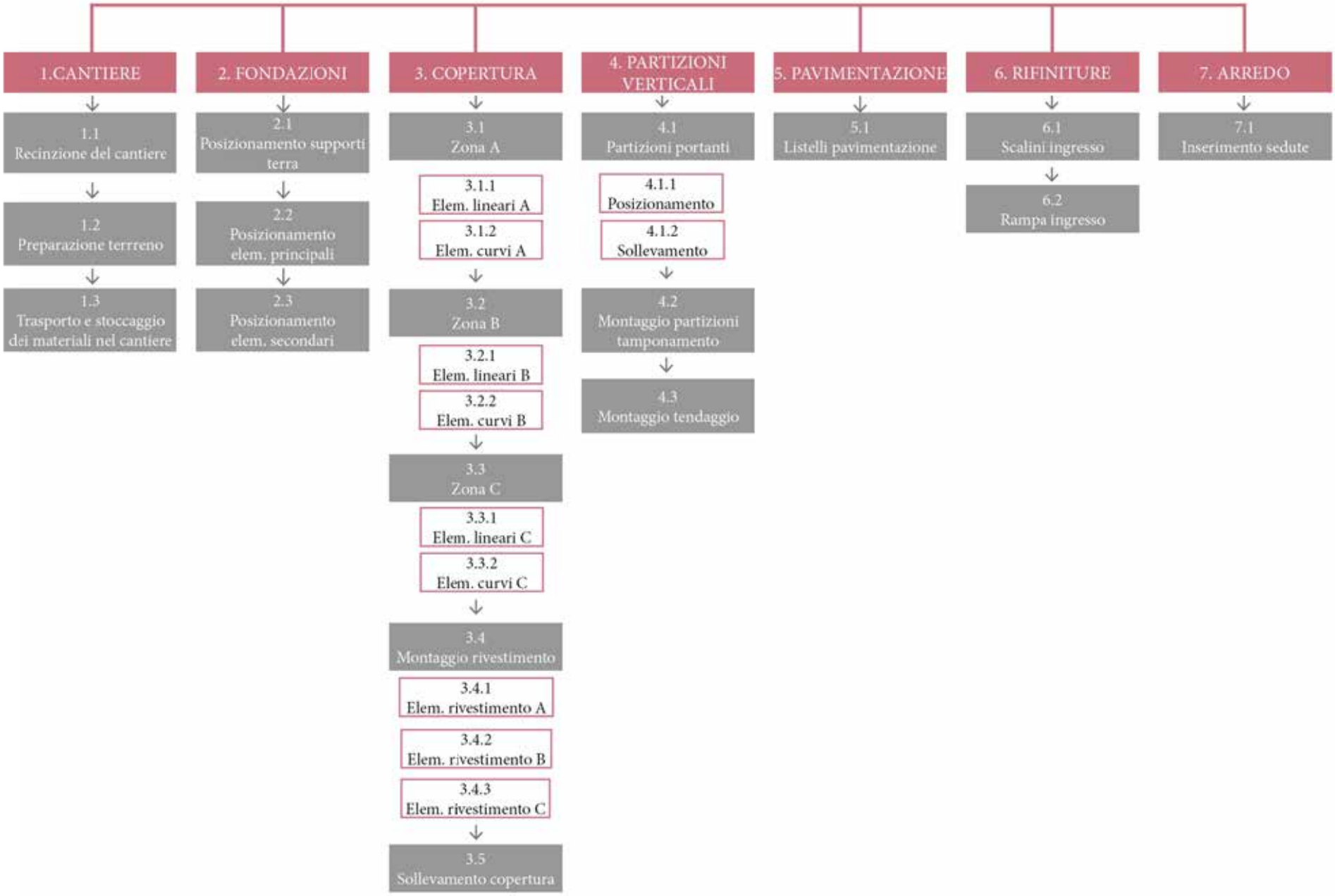
Identificare la struttura ha come obiettivo la suddivisione del processo produttivo in singole attività per definire un sistema comune ben organizzato per il monitoraggio e gestione dello scopo di lavoro.

La WBS ha il compito di mettere in relazione i componenti del progetto con le attività di lavoro necessarie per la sua realizzazione, assumendo una sua propria conformazione in modo differente per ogni tipo di progetto sviluppato.
Esistono diverse modalità per la redazione della struttura organizzativa WBS; per la fase di cantiere in questione, si è proceduto con la metodologia "top-down".

Per una corretta organizzazione, è utile seguire le seguenti regole:

- Top-level identifica l'obiettivo finale;
- I sub-deliverables rappresentano le attività assegnate per il processo produttivo;
- Le attività definiscono il lavoro e la durata;
- Le attività devono essere tra loro indipendenti all'interno della WBS.

La struttura WBS viene schematizzata in un grafico gerarchico ad albero.


1.CANTIERE
1.1 Recinzione del cantiere
1.2 Preparazione terrreno
1.3 Trasporto e stoccaggio dei materiali nel cantiere
2. FONDAZIONI
2.1 Posizionamento supporti terra
2.2 Posizionamento elem. principali
2.3 Posizionamento elem. secondari
3. COPERTURA
3.1 Zona A
3.1.1 Elem. lineari A
3.1.2 Elem. curvi A
3.2 Zona B
3.2.1 Elem. lineari B
3.2.2 Elem. curvi B
3.3 Zona C
3.3.1 Elem. lineari C
3.3.2 Elem. curvi C
3.4 Montaggio rivestimento
3.4.1 Elem. rivestimento A
3.4.2 Elem. rivestimento B
3.4.3 Elem. rivestimento C
3.5 Sollevamento copertura
4. PARTIZIONI VERTICALI
4.1 Partizioni portanti
4.1.1 Posizionamento
4.1.2 Sollevamento
4.2 Montaggio partizioni tamponamento
4.3 Montaggio tendaggio
5. PAVIMENTAZIONE
5.1 Listelli pavimentazione
6. RIFINITURE
6.1 Scalini ingresso
6.2 Rampa ingresso
7. ARREDO
7.1 Inserimento sedute

3.4.2. STESURA CODICE INTEROPERABILE

Nella fase successiva è stato redatto un codice dell'elemento da associare a ciascun componente del modello BIM, utile per creare una connessione tra l'elemento parametrico e la relativa attività prevista nella WBS. Inoltre, l'identificazione dei singoli componenti risulterà utile nella classificazione di essi tramite un abaco dove saranno identificate le quantità dei materiali.

La progettazione del codice è il risultato di valutazioni sviluppate preventivamente in modo tale da definirlo nel modo più adeguato ai fini della progettazione. In questo caso, risulta essere composto da quattro parti che rendono univoco il collegamento tra l'elemento del modello tridimensionale e la lavorazione a cui corrisponde:

- Classificazione dell'elemento in base allo standard Uniformat 2010;
- Categoria dell'elemento in base alla funzione;
- Fase di progetto, ovvero fase di creazione dell'elemento;
- Sottofase di progetto dell'elemento;

X0.YYY.0.0

La prima parte risulta essere un codice alfanumerico e si basa sul formato Uniformat 2010. Questa scelta è dovuta dal fatto di voler categorizzare gli elementi secondo uno standard riconosciuto. Si tratta, infatti, di uno standard emanato dalla NIST (National Institute of standards and Technology), ente americano, il cui scopo è la classificazione degli elementi costruttivi. Esso contiene una descrizione dei prodotti connessi e gli elementi catalogati sono componenti comuni alla maggior parte degli edifici. L'UniFormat prevede una classificazione basata su tre livelli: il primo concentra le principali famiglie di oggetti (fondazioni, involucro e partizioni); il secondo rappresenta una scomposizione del primo in sottogruppi; il terzo specifica gli oggetti contenuti nel livello precedente. Nel nostro caso si è deciso di inserire all'interno del codice solamente la prima e la seconda parte, ritenuti esaustivi per l'informazione che si voleva identificare.

La seconda parte rappresenta la categoria di appartenenza dell'elemento a seconda della sua funzione. Questa sigla permette un primo riconoscimento del componente all'interno della struttura WBS.

Infine, le ultime due parti coincidono con la medesima codifica delle fasi all'interno della WBS: il primo indica la macro-fase a cui appartiene l'elemento del modello BIM, mentre il secondo rappresenta l'associazione alla sottofase dello stesso. Per quanto riguarda gli elementi interessati nella realizzazione della copertura presentano una codifica di dettaglio maggiore, in quanto era necessario differenziare le diverse zone (A, B, C).

Quindi, riportando un esempio, per identificare la partizione verticale portante, il quale si inserisce nella fase 4 e nel dettaglio durante la sottofase 1:

B20.PAR.4.1

Come anticipato, l'intento della codifica è quello di creare un dialogo tra gli elementi della modellazione parametrica 3D e le attività corrispettive, quindi è stato inserito nel modello Revit attraverso una serie di passaggi. È stato innanzitutto creato un parametro condiviso che è stato denominato "WBS", per facilitare le fasi successive in cui bisognerà far corrispondere le attività di cantiere con le relative istanze che fanno parte delle varie categorie.

Si è deciso poi di inserire tale parametro nel sistema "testo" della sezione "Proprietà" in modo tale da poter modificare manualmente il codice.

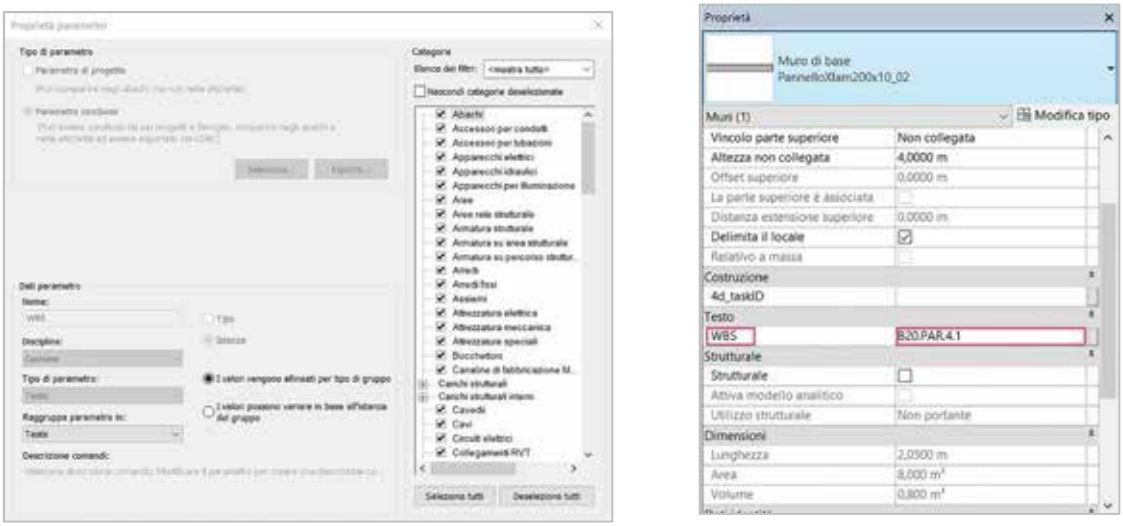


Figura 27. Inserimento parametro condiviso su Revit

L'inserimento manuale del codice è dettato dal fatto che gli oggetti a cui deve essere collegato sono in un numero limitato, quindi la possibilità di commettere errori durante l'associazione è minima. Di conseguenza risulta essere la strada più adeguata e veloce per il caso.

3.4.3. TEMPISTICA DELLE LAVORAZIONI

Dopo aver definito tutte le proprietà utili per quanto riguarda il modello tridimensionale, le fasi successive si concentrano sulla redazione del cronoprogramma. Per iniziare questa operazione è necessario impostare una pre-analisi del cantiere di riferimento.

Come primo passaggio bisogna attribuire ad ogni lavorazione e alle corrispettive sottofasi una durata effettiva. Non esiste un metodo univoco per il calcolo, per questo motivo è stata impostata un'analisi per la stima delle ore in base alle entità di lavoro/risorse. Prendendo come esempio un approfondimento sviluppato da un professore dell'Università Iuav di Venezia, S. Stanghellini:

Dati:

- Costo della lavorazione: P
- Incidenza percentuale della manodopera sulla lavorazione: MO%
- Costo medio orario della manodopera: Ku man
- Ore lavorative giornaliere: Ore gg
- Numero di componenti della squadra tipo: ST

Procedimento:

1. Calcolo del prezzo totale della manodopera (Kt man) per la singola lavorazione:

Kt man = P x MO%

2. Calcolo della durata in ore di manodopera (H man) per la singola lavorazione:

H man = Kt man / Ku man

3. Calcolo degli uomini giorno (UUG) per la singola lavorazione:

UUG = H man / Ore gg

4. Calcolo dei giorni naturali e consecutivi (GG) per la singola lavorazione:

GG = UUG / ST

I dati utili nel calcolo sono stati presi dal Prezzario Piemonte 2019. Il documento si sviluppa identificando per determinate lavorazione differenti indici, tra cui il costo della lavorazione e la percentuale di manodopera. Per quanto riguarda il costo medio orario

della manodopera è stato definito un valore univoco per la totalità del progetto, definendo un operaio di 4° livello, ore normali e il costo corrispettivo di 37,91 euro/ora. Inoltre, sono state definite giornate lavorative da 8 ore.

Per facilitare il computo si è sviluppata una tabella Excel con impostate le formule sopra riportate, per evitare errori nella formulazione dei calcoli.

Di seguito un esempio: Partizioni portanti.

Precedentemente il costo unitario viene moltiplicato per il totale di m^3 all'interno del progetto: 6,41 m^3 x 1.228,61 = 7.875,39 euro

- Costo della lavorazione: P = 7.875,39 euro
- Incidenza percentuale della manodopera sulla lavorazione: MO% = 26 % = 0,26
- Costo medio orario della manodopera: Ku man = 37,91 euro
- Ore lavorative giornaliere: Ore gg = 8 ore
- Numero di componenti della squadra tipo: ST = 8 operai

1. Kt man = P x MO%

   Kt man = 7.875 x 0,26 = 2.047,60 euro
2. H man = Kt man / Ku man

   H man = 2.047,60 / 37,911 = 54 h
3. UUG = H man / Ore gg

   UGG = 54 / 8 = 7 h
4. GG = UUG / ST

   7 / 8 = 0,9 giorni

Il risultato finale indentifica la lavorazione di montaggio delle partizioni verticali portanti in un tempo di 0,9, quasi un giorno di attività con definito un team di 8 operai.

Il medesimo procedimento è stato seguito per tutte le fasi di cantiere.

FASE	CODICE PREZZARIO/N	CODICE ELEMENTO	UNIFORMAT	CATEGORIA	FASE	SOTTOFASE	TIPO	DESCRIZIONE	U.M.	DATO	COSTO UNITARIO	COSTO TOTALE
PARTIZIONI VERTICALI	01.A17.A71.005	B20/PAR.4.1	B20	PAR	4	1		Partizione portante	m^3	6,41	1.228,61 €	7.875,39 €

MATERIALE ID	FASE	VIDEO	COSTO UNIFORMAT_P	INCIDENZA MANOD_TOTALE	COSTO METRO QUADRO_su_mese	ORE LAVORATIVE SQ_S	N SQUADRA_ST	PREZZO PER MANOP_giorno	ORE MANOD_giorno	GIORNATE_LAVO	GIORNATE LAVORATIVE_SQ
	PARTIZIONI VERTICALI	4							PARTIZIONI VERTICALI		
01.A17.A71.005	Partizione portante	4.1	7.875,39 €	26%	37,91 €	8	8	2.047,60 €	54,0	7,0	0,9

Figura 28. Esempio schedulazione del calcolo tramite Excel

3.4.4. IL DIAGRAMMA DI GANTT

Avendo definito le basi per la definizione delle lavorazioni, la suddivisione in attività e l'attribuzione dei tempi, si hanno gli strumenti per eseguire la programmazione dell'intervento.

Il passaggio successivo è la realizzazione del cronoprogramma tramite MSProject, un software di programmazione operativa, il cui output finale sarà la creazione del diagramma di Gantt.

Si tratta di un diagramma cartesiano in cui le ascisse rappresentano la scala temporale, mentre nelle ordinate vengono disposte le attività da compiere per completare il progetto, ovvero le fasi evidenziate nella WBS. La durata della lavorazione è invece delineata con una barra che inizia e finisce nelle date prefissate.

Per poter lavorare su MSProject, si sono dovute precedentemente impostare delle informazioni di base del progetto:

- Data inizio: lunedì 21/09/20;
- Calendario: Standard (orario giornaliero, sabato e domenica come giorni festivi);
- Programmazione: 8 ore giornaliere, inizio alle ore 8:00h, fine alle ore 17:00h;

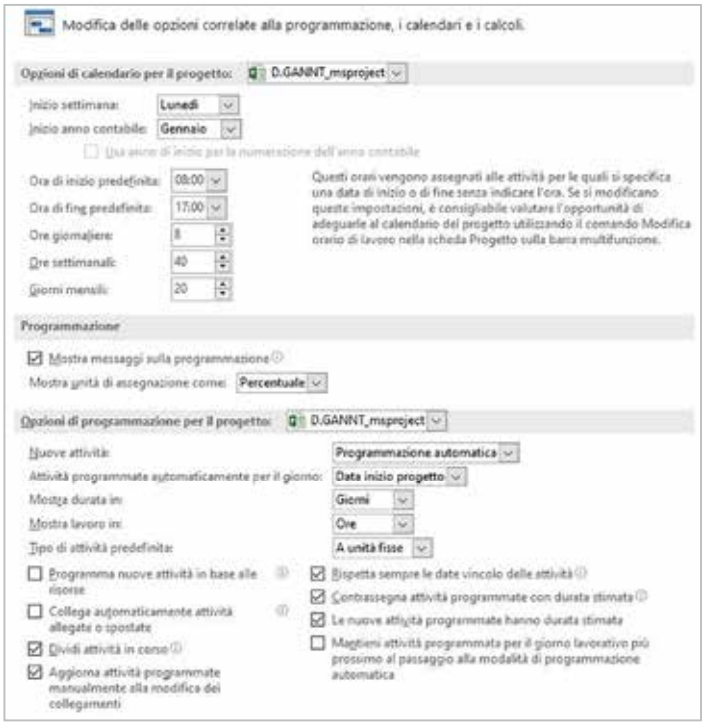


Figura 29. Impostazioni di base all'interno del software MSProject

Successivamente sono state definite le colonne per l'organizzazione della programmazione:

- Entità: vengono inseriti i codici con cui abbiamo identificato gli elementi. Il dato sarà utilizzato successivamente per l'associazione nel software Naviswork tra i file MSProject e Revit;
- WBS: codifica utile per inserire l'attività all'interno della struttura WBS precedentemente definita;
- Nome attività: suddivisa in fasi e sottofasi
- Durata
- Inizio
- Fine
- Predecessori: si è deciso di impostare le attività in ordine temporale secondo il legame "Finish to Start", in cui l'inizio di un'attività si delinea solo al termine della lavorazione precedente;

Di seguito il cronoprogramma e il relativo diagramma di Gantt realizzato attraverso Microsoft Project.

ID	entità	WBS	Nome attività	Durata	Inizio	Fine	Predecessori
1		1	**ALLESTIMENTO CANTIERE**	**2,5 g**	**lun 21/09/20**	**mer 23/09/20**	
2	G10.CAN.1.1	1.1	Recinzione del cantiere	1 g	lun 21/09/20	lun 21/09/20	
3	G10.CAN.1.2	1.2	Preparazione terreno	1 g	mar 22/09/20	mar 22/09/20	2
4	G10.CAN1.3	1.3	Trasporto e stoccaggio dei materiali nel cantiere	4 h	mer 23/09/20	mer 23/09/20	3
5		2	**FONDAZIONI**	**2,65 g**	**mer 23/09/20**	**lun 28/09/20**	1
6	A10.FO.2.1	2.1	Posizionamento supporto base	6 h	mer 23/09/20	gio 24/09/20	4
7	A10.FO.2.2	2.2	Posizionamento elem. Principali	1,4 g	gio 24/09/20	ven 25/09/20	6
8	A10.FO.2.3	2.3	Posizionamento elem. Secondari	4 h	ven 25/09/20	lun 28/09/20	7
9		3	**COPERTURA**	**5,75 g**	**lun 28/09/20**	**lun 05/10/20**	5
10		3.1	**Zona A**	**1,25 g**	**lun 28/09/20**	**mar 29/09/20**	
11	B30.CO.3.1.1	3.1.1	Elem. Lineari A	2 h	lun 28/09/20	lun 28/09/20	8
12	B30.CO.3.1.2	3.1.2	Elem. Curvi A	1 g	lun 28/09/20	mar 29/09/20	11
13		3.2	**Zona B**	**1,5 g**	**mar 29/09/20**	**mer 30/09/20**	10
14	B30.CO.3.2.1	3.2.1	Elem. lineari B	4 h	mar 29/09/20	mar 29/09/20	12
15	B30.CO.3.2.2	3.2.2	Elem. curvi B	1 g	mar 29/09/20	mer 30/09/20	14
16		3.3	**Zona C**	**1,25 g**	**mer 30/09/20**	**ven 02/10/20**	13
17	B30.CO.3.3.1	3.3.1	Elem. lineari C	2 h	mer 30/09/20	gio 01/10/20	15
18	B30.CO.3.3.2	3.3.2	Elem. curvi C	1 g	gio 01/10/20	ven 02/10/20	17
19		3.4	**MONTAGGIO RIVESTIMENTO**	**1,25 g**	**ven 02/10/20**	**lun 05/10/20**	16
20	B30.CO.3.4.1	3.4.1	Elem. Rivestimento A	3 h	ven 02/10/20	ven 02/10/20	18
21	B30.CO.3.4.2	3.4.2	Elem. Rivestimento B	4 h	ven 02/10/20	lun 05/10/20	20
22	B30.CO.3.4.3	3.4.3	Elem. Rivestimento C	3 h	lun 05/10/20	lun 05/10/20	21
23	B30.CO.3.5	3.5	Sollevamento copertura	0,5 g	lun 05/10/20	lun 05/10/20	22
24		4	**PARTIZIONI VERTICALI**	**2 g**	**lun 05/10/20**	**mer 07/10/20**	9
25	B20.PAR.4.1	4.1	Montaggio partiz. portanti	0,5 g	lun 05/10/20	mar 06/10/20	19
26	B20.PAR.4.1.1	4.1.1	Posizionamento	2 h	lun 05/10/20	mar 06/10/20	
27	B20.PAR.4.1.2	4.1.2	Sollevamento	4 h	lun 05/10/20	mar 06/10/20	19
28	B20.PAR.4.2	4.2	Montaggio partiz. tamponamenti	4 h	mar 06/10/20	mar 06/10/20	25
29	B20.PAR.4.3	4.3	Montaggio tendaggio	1 g	mar 06/10/20	mer 07/10/20	28
30		5	**PAVIMENTO**	**1 g**	**mer 07/10/20**	**gio 08/10/20**	24
31	B10.PAV.5.1	5.1	Listelli pavimentazione	1 g	mer 07/10/20	gio 08/10/20	29
32		6	**RIFINITURE**	**0,5 g**	**gio 08/10/20**	**ven 09/10/20**	30
33	C20.EL.6.1	6.1	Scalini ingresso	2 h	gio 08/10/20	ven 09/10/20	31
34	C20.EL.6.2	6.2	Rampa ingresso	2 h	ven 09/10/20	ven 09/10/20	33
35	E20.AR.7.1	7	**ARREDO**	**0,25 g**	**ven 09/10/20**	**ven 09/10/20**	32
36		7.1	Inserimento sedute	2 h	ven 09/10/20	ven 09/10/20	

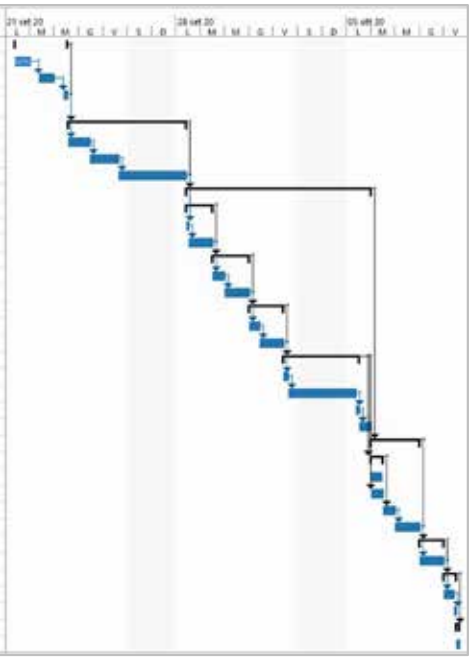
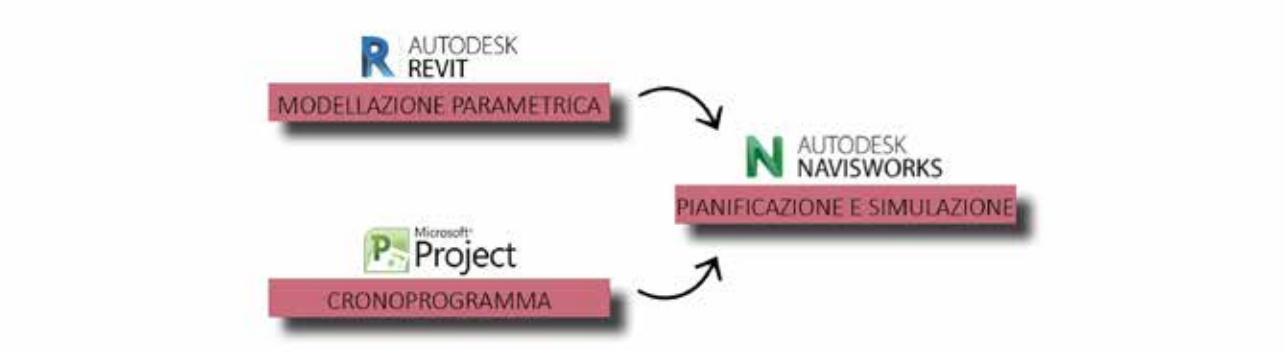


Figura 30. *Stralcio cronoprogramma e diagramma di Gantt su Microsoft Project*

3.4.5. REALIZZAZIONE DEL MODELLO 4D



La possibilità di avere a disposizione gli ambienti digitali 4D contribuisce alla realizzazione di processi costruttivi in grado di ridurre al minimo lo spreco di sforzi, materiali e tempistiche, raggiungendo il valore economico ottimale per il soddisfacimento delle richieste del committente.

Si tratta, quindi, di un modello virtuale a cui vengono collegate le attività pianificate nel cronoprogramma del progetto specifico; in questo modo si è in grado non solo di verificare le sequenze costruttive impostate da chi organizza il cantiere, ma si presenta anche come uno strumento di visualizzazione che permette agli stakeholder di progetto di avere una migliore comprensione di eventuali problematiche che si possono riscontrare.

Nel nostro caso, si è deciso di utilizzare il software Autodesk Naviswork Manage 2018. Il programma consente il coordinamento, la pianificazione e il controllo dei modelli BIM; si ha la possibilità, quindi, di visualizzare le informazioni del progetto e gestirle in modo efficace ed efficiente durante tutte le fasi, dalla realizzazione fino alla gestione dell'opera.

Esportazione del modello parametrico e del cronoprogramma

Per la realizzazione del modello 4D, è necessario l'inserimento del modello Revit all'interno di Naviswork, quindi abbiamo esportato un file .nwc, in modo tale da avere tutti gli elementi e le relative informazioni in un formato compatibile al software di destinazione.

Il procedimento per esportazione del cronoprogramma si è suddiviso in fari processi: in un primo momento si è estrapolato un file .mpp dal software MSProject ma, successivamente, nel momento in cui si provava ad inserire il formato all'interno di Naviswork si presentavano problemi dettati dal fatto che sul computer utilizzato per la lavorazione del 4D non era presente il programma MSProject. Per sfruttare l'interoperabilità di questi software si è optato per l'esportazione del formato .csv. Per la fase di esportazione si sono dovute definire le informazioni da estrarre, le quali verranno inserite nel software di Autodesk.

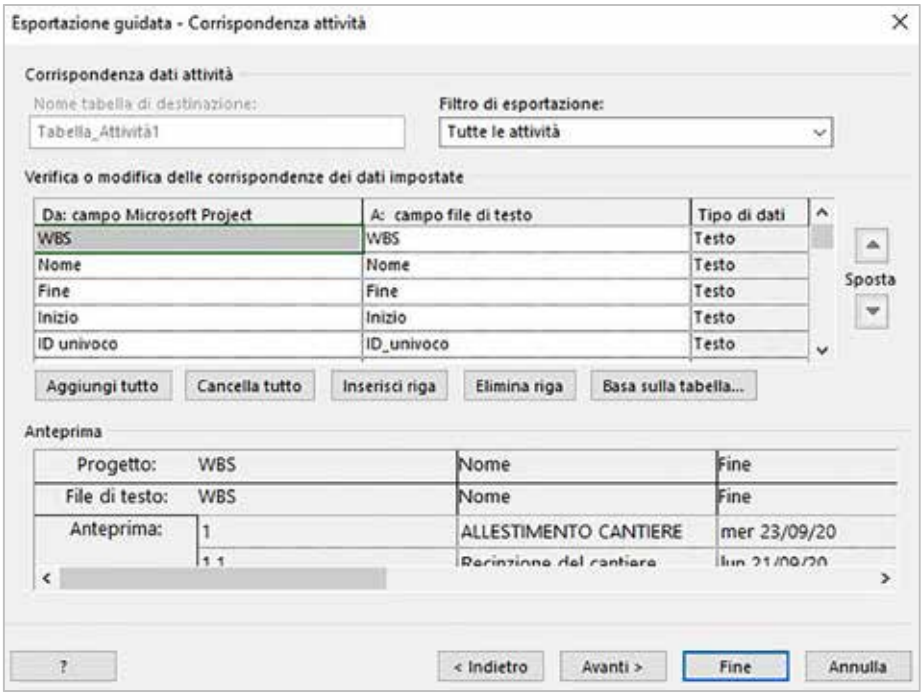


Figura 31. Esportazione .csv dal sofware MSProject

Inserimento dei file in Autodesk Naviswork

Il file del modello tridimensionale, dopo l'esportazione in formato .nwc è stato semplicemente inserito nel software Naviswork. Il modello e le sue relative geometrie importate possono essere gestiti facilmente attraverso una finestra che seleziona e raccoglie i file sorgente.

Completata questa operazione, si effettua L'importazione del cronoprogramma tramite lo strumento Timeliner presente all'interno di Naviswork. Dalla finestra Origine dati vengono elencati i differenti file leggibili, tra cui il formato .csv, quello utilizzato per

esportare le informazioni dal programma MSProject. Di conseguenza, all'interno della funzione Attività ritroviamo la gerarchia delle fasi preimpostate con allegate le varie tempistiche; dalla medesima casella vi è la possibilità di effettuare modiche e definire dati utili per la strutturazione della simulazione: tra le prime opzioni bisogna definire la tipologia di attività (demolizione, costruzione e temporaneo) e nel nostro caso si tratta esclusivamente di costruzione, questa impostazione garantirà la visualizzazione dell'elemento durante la simulazione.

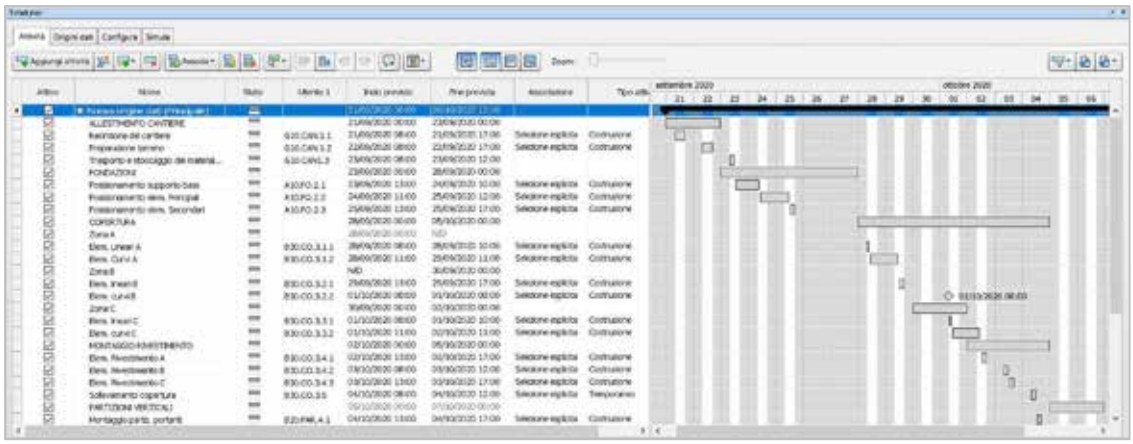


Figura 32. Stralcio scheda "Attività" su Autodesk Navisworks

Come ultimo passaggio, il più fondamentale, abbiamo l'associazione delle informazioni geometriche e temporali. Questa operazione viene eseguita automaticamente utilizzando il comando "associazione automatica tramite regole". Il collegamento tra i due file viene guidata creando una nuova regola di associazione con cui il software identifica le informazioni da prendere in considerazione: si imposta un'"associazione elementi attività in base alla categoria/proprietà" e si identifica l'assegnazione tra il codice dell'attività della colonna "entità" presente nel cronoprogramma realizzato su MSProject, attualmente presente nella Timeliner, e la medesima codifica che presentano gli elementi del modello Revit sotto la dicitura "WBS".

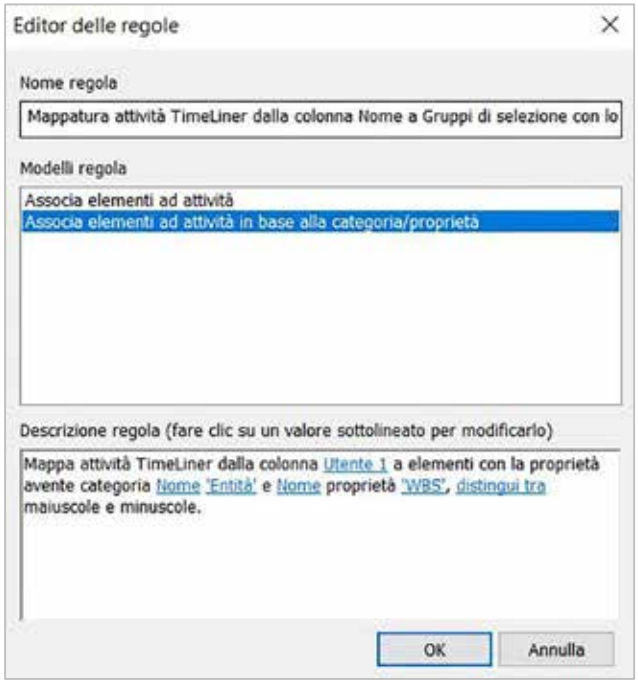


Figura 33. Creazione di una nuova regola di associazione

4. Risultati

4.1. LA SIMULAZIONE

Verificata l'avvenuta associazione, si è proceduto con la simulazione del cantiere. Questa opzione presente nel software Naviswork dà la possibilità di visualizzare le attività in successione e di identificare i componenti in ogni singola fase, permettendo così un miglior controllo del processo costruttivo.

Il risultato finale è quindi un video che simula le attività nel tempo. Il video mostra la corrispondenza del tempo con le diverse fasi tramite una timeline posta in alto a destra del filmato.

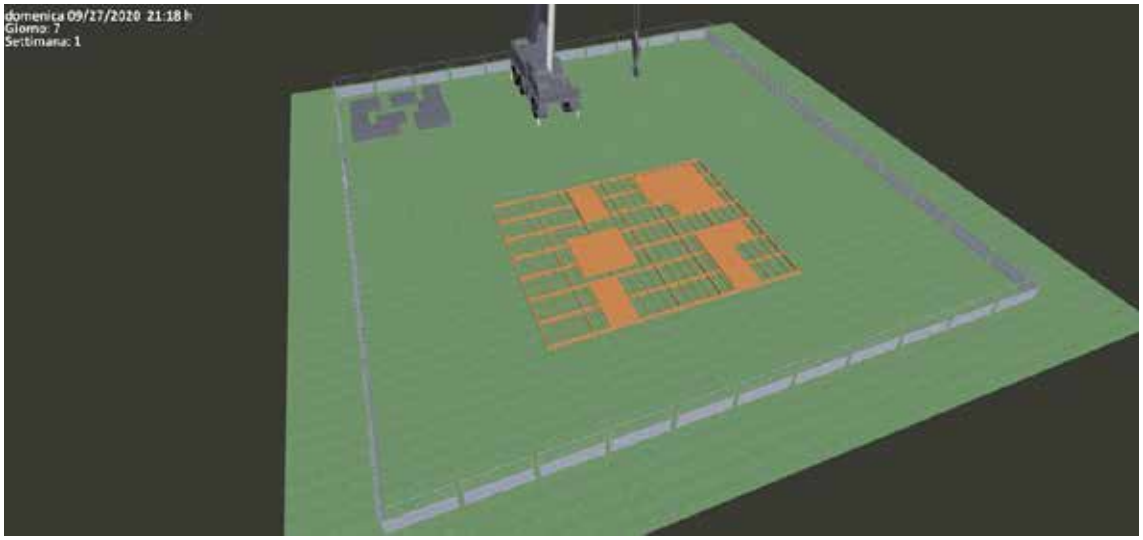


Figura 34. Rappresentazione della simulazione di cantiere. Posizionamento delle fondazioni e collocazione delle pareti portanti

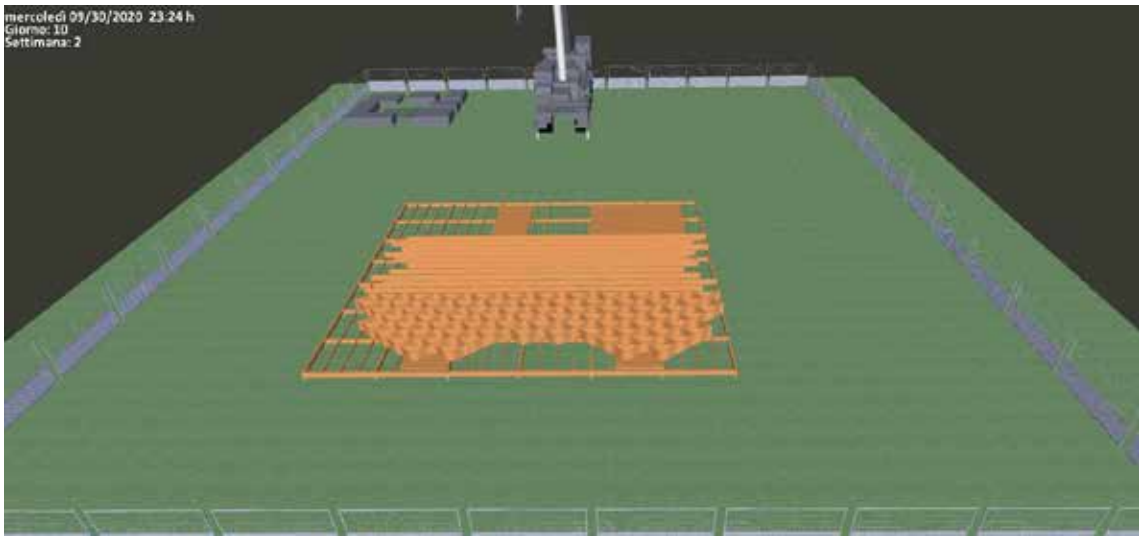


Figura 35. Rappresentazione della simulazione del cantiere. Montaggio della copertura a terra

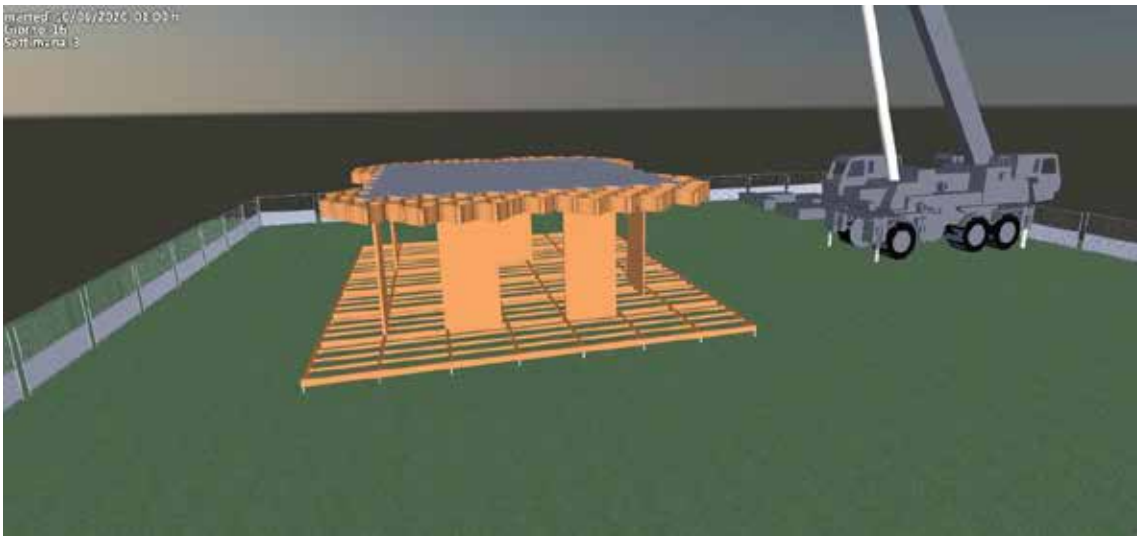


Figura 36. Rappresentazione della simulazione di cantiere. Sollevamento della copertura tramite autogrù e incastro con le pareti portanti

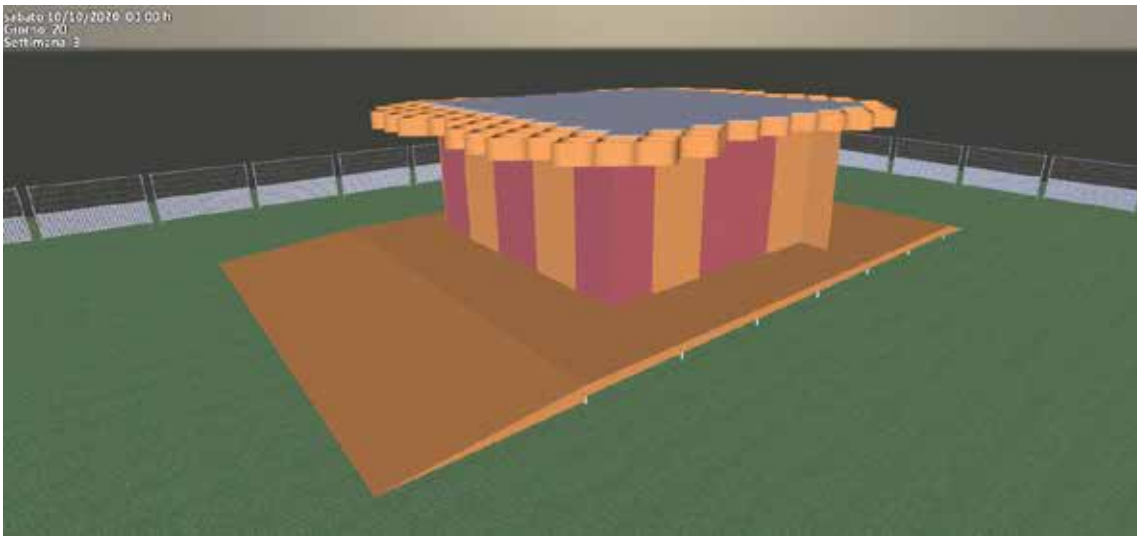


Figura 37. Rappresentazione della simulazione di cantiere. Conclusione del processo

In questo modo si può confermare come la lavorazione e realizzazione di un modello 4D porti dei miglioramenti nella gestione e pianificazione di un cantiere, rispetto ad una progettazione di cantiere tradizionale. Si affermano, cosi, i vantaggi delineati nel capitolo rivolto alla dimensione 4D.

Di seguito viene presentato il QR del video estrapolato da Naviswork:

5. Conclusioni

Il lavoro di tesi ha analizzato il tema del padiglione e la sua nuova relazione con l'architettura. In particolare, come nell'ambito didattico venga utilizzato come strumento di sperimentazione e di studio.

In seguito ad un'attenta analisi dei casi studio in considerazione e dallo studio dei componenti ingegnerizzati in legno e della loro evoluzione, si riscontrano difficoltà nella classificazione e nell'individuazione dei sistemi costruttivi utilizzati. Tuttavia, le svariate opportunità di utilizzo di questi elementi sono lampanti nella lettura delle strutture, permesso dall'avanzamento tecnologico e dall'innovazione continua dei processi di produzione e lavorazione degli stessi. Le caratteristiche dei componenti ingegneristici determinano nel loro utilizzo un'alta flessibilità, proprio per questo i campi di impiego non riguardano solo le strutture temporanee ma anche edilizia abitativa o pubblica.

Un fattore determinante è rappresentato dall'introduzione di sistemi digitali e software di calcolo nella progettazione, questa diventa la fase più importante dell'intero processo realizzativo limitando errori in fase di costruzione.

A tal fine il modello di studio è stato progettato attraverso la metodologia di Building Information Modeling. In particolar modo ci siamo concentrati sul tema della pianificazione operativa del cantiere per lo sviluppo del padiglione.

I risultati raggiunti si sono dimostrati soddisfacenti, nonostante si siano riscontrate delle criticità durante il percorso, dovendo così trovare delle soluzioni differenti.

Interagendo con le nuove tecnologie BIM abbiamo avuto modo di conoscere le potenzialità dei software utilizzati, caratteristiche che ben li differenziano dal metodo tradizionale di progettazione, a seguito:

- Fornire uno strumento univoco in cui è possibile visionare ed avere sotto controllo più aspetti relativi alla progettazione del cantiere e alla sua logistica;
- interoperabilità tra diversi attori;
- interoperabilità tra i programmi permettendo una miglior collaborazione tra gli utenti;
- gestione delle tempistiche prestabilite;
- monitoraggio dei modelli e delle informazioni contenute in essi;

Al termine di questo percorso sono state fatte delle riflessioni sull'eventuale sviluppo di alcuni approfondimenti futuri:

- Per quanto riguarda il modello parametrico su Revit si può implementare il livello di dettaglio degli elementi in modo tale da fornire informazioni per quanto riguarda il lato tecnologico del progetto, come giunzioni o tipologie di aggancio tra i componenti, per il momento ancora limitato per la mancanza di famiglie e componenti riferiti a strutture in legno all'interno di Revit;
- Oltre alla gestione dei dati riguardanti le tempistiche di lavorazione, risulta fondamentale uno studio approfondito sull'area del cantiere. Tramite Naviswork è possibile sviluppare un'analisi sulle interferenze, sia tra gli elementi costruttivi, sia tra le aree intervento, consentito tramite uno studio dei flussi del team di lavoro o movimento degli automezzi coinvolti;
- Implementare il Construction Management inserendo la quinta dimensione, ovvero la gestione dei costi, che grazie al software Revit si possono elencare le quantità degli elementi interessati nella fase cantieristica e insieme a MSProject si possono collegare le risorse alle fasi in cui entrano in gioco.

L'evoluzione degli elementi ingegnerizzati in legno ha determinato un progresso tecnologico in architettura che ha interessato diversi ambiti, trovando applicazioni con esigenze particolari e articolate.

Si può quindi affermare che i sistemi costruttivi delle strutture temporanee in legno non hanno ad oggi un'identità univoca, ma sono un'innovazione alternativa ai sistemi tradizionali. Tuttavia, la metodologia Bim non presenta ad oggi un'evoluzione compiuta per quel che concerne i materiali legnosi.

6. BIBLIOGRAFIA

Akintola Akintoye, J. G. (2012). *Construction Innovation and Process Improvement.* John Wiley & Sons.

Aladdin Alwisy, S. B.-H. (2019). A BIM-based automation of design and drafting for manufacturing of wood panels for modular residential buildings. *International Journal of Construction Management*, 187-205.

Antti Ruuska, T. H. (2016). Efficiency in the delivery of multi-story timber buildings. *Energy Procedia, 96*, p. 190-201.

Bragadin, M. A. (2011). *La programmazione dei lavori con i metodi reticolari. Metodi e strumenti di project management per la costruzione.* Maggioli Editore.

Chuck Eastman, P. T. (2016). *il BIM. Guida completa al Building Information Modeling per committenti, architetti, ingegneri, gestori immobiliari e imprese.* (V. V. Giuseppe M. Di Guida, A cura di) Milano: Hoepli Editore.

Ciammaichella, M. (2012, 06). Tratto da Artefatti in evoluzione. La rappresentazione matematica fra design generativo e pratiche numeriche: http://disegnarecon.unibo.it

Ferrante, T. (2008). *Legno e innovazione.* Firenze: Alinea.

Firrone, T. (2011). *Il legno: tradizione e innovazione.* Roma: Aracne editrice.

Giachino, D. M. (2013). *Legno. Manuale per progettare in Italia .* Torino: Utet Scienze Tecniche.

Giudice, M. D. (2019). *Il disegno e l'ingegnere. BIM handbook for building and civil engeneering students.* Torino: Levrotto&Bella.

Goodman R., B. M. (2016). *Planning Melbourne: Lessons for a sustainable city.* Australia: Csiro.

Guido Callegari, R. Z. (2010). *BOISLAB. Il legno per un'architettura sostenibile.* Firenze: Alinea.

J., B. A. (2018). The Birth of a Music City. *Journl of Australian Studies*, 101-115.

Jack Porteous, A. K. (2007). *Structural Timber Design to Eurocode 5.* Gran Bretagna: Blackwell Pub.

Leon van Schaik, ,. F. (2015). *Pavilions, Pop Ups and Parasols: The Impact of Real and Virtual Meeting on Physical Space.* Londra: John Wiley & Sons Inc.

Loh, P. (2015). *ARTICULATED TIMBER GROUND, MAKING PAVIL-ION AS PEDAGOGY.* Melbourne: Universiti of Melbourne.

Meiling, H. J. (2009). Defects in offsite construction: timber module prefabrication. *Construction Management and Economics, 27*(7), 667-681.

Mortiz Balz, R. H. (2009). *Innovative timber constructions Yves Weinand.* Lausenne, Svizzera.

Neumann o., B. P. (2007). *Ftuturewood. Innovation in building design + manufacturing.* Canada: Riverside Architectural Press.

Norma UNI 11337-1:2017 Edilizia e opere in ingegneria civile-Gestione digitale dei processi informativi delle costruzioni. (2017).

Pottmann, H. (2013). Architectural Geometry and Fabrication-Aware Design. *Nexus Network Journal*.

Rodella, E. (2018). Il BIM per le strutture in legno prefabbricate: interoperabilità tra modellazione, analisi strutturale e produzione industriale. *Tesi di Laurea*. Padova: Università degli Studi di Padova.

Shaw, K. (2014). Melbourne's Creative Spaces program: Reclaiming the 'creative city' (if not quite the rest of it). *Science Direct, 5*(3), 139-147.

Simone Pozzoli, W. S. (2010). *Revit Architecture 2011. Guida avanzata.* Teniche Nuove.

Weinand, Y. (2016). *Advanced Timber Structures : Architectural Designs and Digital Dimensioning.* Svizzera: Birkhauser Architecture.

Young, T. (2009). *Project management in pratica. Le capacità per arrivare al successo, le tecniche più efficaci e sperimentate, la gestione dei rischi: Le capacità per arrivare al successo, le tecniche più efficaci e sperimentate, la gestione dei rischi.* FrancoAngeli.

SITOGRAFIA

[EmTech] AA Emergent Technologies & Design Graduate Programme. (s.d.). Tratto da http://emtech.aaschool.ac.uk/

AAU, E. D. (2016). Australia's tallest engineered timber office building opens. *ARCHITECTUREAU*. Tratto da https://architectureau.com/articles/australias-tallest-engineered-timber-office-building-opens/

ArchDaily Broadcasting Architecture Worldwide. (s.d.). Tratto da https://www.archdaily.com/

BibLus-net. (s.d.). Tratto da http://biblus.acca.it/

bimobject. (s.d.). Tratto da https://www.bimobject.com/

City of Melbourne. (2007). Tratto da https://www.melbourne.vic.gov.au/

Concéntrico 06. (s.d.). Tratto da https://concentrico.es/en/origami/

dama.academy. (2019, 09 02). *dama.academy*. Tratto da DamA Digital Arts & Manufacturing Academy: https://www.dama.academy/

Dezeen. (s.d.). Tratto da https://www.dezeen.com/

DigiiTalArchFab. (s.d.). Tratto da http://digiitalarchfab.com

dis-up! (s.d.). Tratto da https://www.disup.com/

domus. (s.d.). Tratto da https://www.domusweb.it/

Dulwich Picture Gallery. (s.d.). Tratto da https://www.dulwichpicturegallery.org.uk/

EPFL. (s.d.). Tratto da https://www.epfl.ch/labs/

FiberLine. (s.d.). Tratto da https://fiberline.com/

Future Melbourne. A bold, inspirational and sustainable city. (2008, Luglio). Tratto il giorno 2019 da www.futuremelbourne.com.au

Iaac Institute for advanced architecture of Catalonia. (s.d.). Tratto da http://www.iaacblog.com/

InfoBuild Il portale per l'edilizia e l'architettura. (s.d.). Tratto da https://www.infobuild.it/

Kent, T. (2016, Giugno 1). *100 RESILIENT CITIES.* Tratto il giorno 2019 da https://www.100resilientcities.org/cities/melbourne/

Livel Of Development (LOD) Specification Part I & Commentary. For Building Information Models and Data. (2018, Settembre). Tratto da https://bimforum.org/

Milgrom, N. (2014). Tratto il giorno 2020 da Naomi Milgrom Foundation: http://www.naomimilgromfoundation.org/

Pan, Y. (s.d.). *Yingu Pan*. Tratto da Arch 497: http://digiitalarchfab.com/

Serpentine Galleries. (s.d.). Tratto da www.serpentinegalleries.org

*Wallpaper**. (s.d.). Tratto da http://www.wallpaper.com/

Wood Solutions. (s.d.). Tratto il giorno 2019 da https://www.woodsolutions.com.au/

World Architecture Community. (s.d.). Tratto da https://worldarchitecture.org/

world-architects.com Profiles of Selected Architects. (s.d.). Tratto da https://www.world-architects.com/

University of Stuttgart Institute for Computational Design and Construction. (s.d.). Tratto da https://www.icd.uni-stuttgart.de/