



# POLITECNICO DI TORINO

Corso di laurea magistrale in  
Architettura per il progetto sostenibile

TESI DI LAUREA MAGISTRALE

Architettura in paglia: analisi e confronto di due casi studio

Candidato  
Mathieu Rossi

Relatore  
Prof. Andrea Bocco

ANNO ACCADEMICO 2018 - 2019



## SOMMARIO

Quest'analisi ha come obiettivo capire quale sia l'impatto della costruzione in balle di paglia. Al momento di scegliere l'indirizzo per la magistrale non avevo dubbi: era Progetto Sostenibile. Volevo vedere più da vicino un modo di fare architettura che desse maggior peso alle conseguenze di un consumo spropositato delle risorse che il nostro pianeta offre.

Durante il mio Erasmus in Francia, in diverse occasioni si è trattato di architettura vernacolare nelle sue più svariate forme, anche dal punto di vista dell'antropologia culturale; tra le tante sono state menzionate anche le costruzioni in paglia. Durante un seminario sulle costruzioni alternative all'ENSASE, École nationale supérieure d'architecture de Saint-Étienne, ho potuto assistere a una presentazione sui materiali naturali che si usano oggi in edilizia, il loro impiego e le loro potenzialità. Un'architettura che si basa sulle materie prime che offre l'ambiente circostante e sull'antica disciplina dell'autocostruzione. In questo modo mi sono interessato di più all'argomento e al mio rientro a Torino ho deciso di lavorare su qualcosa che unisse queste tematiche per capire come fare un'architettura migliore, per noi e l'ambiente.

Oggi giorno capita spesso di vedere sulle riviste nuovi materiali sintetici ultima generazione per aumentare prestazioni nell'edilizia, quando in realtà intorno a noi abbiamo dei materiali naturali facilmente accessibili che rispettano le esigenze moderne.

Si è così presentata, grazie al professor Andrea Bocco, l'occasione di lavorare sulla paglia, il suo impiego in edilizia in quanto materiale naturale, economico ed ecologico; comprendere qual è il suo impatto ambientale in termini di energia grigia ed emissioni di carbonio. Per capire il "peso" che ha per l'ambiente costruire in paglia, verrà fatto un confronto tra due edifici simili ma costruiti con tecniche diverse. Sono quindi andato a visitare il primo edificio in Svizzera a Bubikon e lo studio dell'architetto suo ideatore Werner Schmidt, a Trun.

In un secondo momento mi sono recato a Hrubý Šúr in Slovacchia per vedere una realizzazione dell'architetto Gernot Minke, anche lui grande esperto nell'utilizzo della paglia in architettura. Incontrando di persona gli architetti e visitando la loro opera, sono stato in grado di sviluppare uno studio sul livello di sostenibilità di questi edifici.



## INDICE

Sommario.....	3
Indice.....	5
Introduzione.....	7
Capitolo 1	
1.1: Werner Schmidt.....	9
1.2: Gartist.....	15
1.3: Progetto.....	18
Capitolo 2	
2.1: Gernot Minkie.....	51
2.2: Bjørn Kierulf e Createrra.....	52
2.3: Progetto.....	54
Capitolo 3	
3.1: Confronto e critica.....	75
3.2: Conclusioni.....	83
Bibliografia.....	84
Ringraziamenti.....	86



Per vedere la nascita delle costruzioni in paglia, bisogna andare oltre oceano, negli Stati Uniti in particolare in Nebraska nelle pianure di Sandhills. Una zona povera di pietre e legname, che spinse questo gruppo ristretto di a trovare una soluzione alternativa per costruire case, scuole, uffici e chiese. Secondo lo storico Roger L. Welsch<sup>1</sup> “i coloni bianchi, nell’attesa che il legno da costruzione arrivasse tramite la ferrovia, pensarono di usare la paglia imballata, scarto nella coltivazione del grano.”

Le balle di paglia vennero sfruttate come blocchi da costruzione portanti: questa tecnica è stata inseguita chiamata “Nebraska” perché qui vide la luce. L’invenzione della macchina imballatrice a vapore nel 1890 consente di raccogliere e comprimere il materiale in balle, permettendo così di formare questi grandi mattoni che compongono i muri.

In poco tempo i coloni si resero conto che le loro costruzioni temporanee, preservavano il calore in inverno, restando fresche in estate, e divennero così strutture permanenti. I più antichi edifici in paglia tutt’ora esistente risalgono al 1904, dice Schmidt, costruiti appunto con questa «tecnica Nebraska», che nonostante i vantaggi, doveva ancora essere perfezionata in quanto problemi dovuto agli agenti atmosferici, i roditori e gli insetti non erano ancora stati risolti.

In questa ristretta zona degli Stati Uniti, questa tecnica fu utilizzata fino agli anni 40 del XX sec, dopodiché la paglia venne dichiarata inadeguata. Questo perché le ricchezze e lo status sociale che ne conseguì permisero costruzioni in cemento, più robuste e solide ai loro occhi. Le case di paglia sono state riscoperte e rilanciate negli Stati Uniti durante gli anni 70 sul filone dell’edilizia ecologica grazie a riviste come The Last Straw Journal con il compito di diffondere le idee. Oggi, nel mondo, si contano oltre 10000<sub>2</sub> costruzioni in paglia.

1 - Roger L. Welsch: <https://www.architetturaecosostenibile.it/materiali/altri/storia-costruzioni-paglia-725/> [28/11/18]

2 - <http://www.hot-ice-arena.it/wp-content/uploads/2016/07/Case-di-Paglia-calde-dinverno-e-fresche-destate.-Clicca-se-vuoi-saperne-di-pi%C3%B9.pdf>



La Chiesa della Santissima Trinità ad Arthur, Nebraska 7

CAP. 1



Werner Schmidt mostra un plastico presente nel suo studio  
[www.swissinfo.ch](http://www.swissinfo.ch)

## 1.1 WERNER SCHMIDT

Nasce nel 1953 a Trübbach in Svizzera in una famiglia di artigiani come maniscalchi, falegnami e muratori. Le estati passate a lavorare con suo padre come muratore lo avvicinarono al mondo della costruzione; decide così di conseguire una formazione in ingegneria alla Höhere Technische Lehranstalt a Winterthur diplomandosi nel 1978.

Decide in seguito di riprendere gli studi e si iscrive all'università di arti applicate di Vienna conseguendo una laurea più architettonica nel 1989.

Per una decina d'anni insegna in varie università in tutta Europa tra cui l'università di Scienze applicate Coira in Svizzera, l'accademia di Belle arti di Stoccarda in Germania, all'università di Innsbruck in Austria e infine all'accademia di design di Bolzano in Italia.

Nel 1989 si insedia definitivamente a Trun e apre un atelier dove ora dirige un gruppo di 7 architetti, paesaggisti e grafici.

Affascinato dalle costruzioni in paglia ed altri materiali naturali, Schmidt tenta di diffondere questa pratica in Svizzera, e dopo varie risposte negative da persone scettiche rispetto a questa tecnica, riesce finalmente a costruire Casa Braun a Disentis, suo primo edificio in paglia.

Negli ultimi 20 anni Werner Schmidt, con le costruzioni in paglia si è fatto strada nel mondo dell'edilizia sostenibile realizzando numerosi edifici con differenti destinazioni d'uso, privati e pubblici.





Werner Schmidt sul cantiere di Casa Braun  
<https://www.swissinfo.ch>

Ha costruito edifici con balle di paglia in Svizzera e nei paesi limitrofi Germania e Italia.

Una delle caratteristiche, che più mi affascinano nel lavoro di Schmidt, è la sua vicinanza con l'architettura tradizionale, che unisce l'uso di materiali semplici e naturali e le esigenze contemporanee. L'architetto ama il lavoro manuale e predilige affrontare in prima persona tutta la fase di costruzione per accompagnare i suoi colleghi e gli stessi committenti che spesso decidono di partecipare alla costruzione per ridurre i costi.

Un altro punto fondamentale per Werner Schmidt, è l'autosufficienza dell'edificio: l'autonomia per quanto riguarda l'elettricità magari usando pannelli fotovoltaici, l'acqua con il recupero e il filtraggio delle acque piovane e sistemi di ventilazione che sostituiscono il climatizzatore.

Grazie all'impiego della paglia che funziona da isolante e ad allo stesso tempo può essere l'elemento portante della struttura, Schmidt cerca di raggiungere una combinazione tra efficienza, confort, risparmio e sostenibilità, in quanto Schmidt presta molta attenzione all'energia grigia e all'impatto sull'ecosistema durante la fase d'uso «Quello che mi interessa è l'indipendenza completa. Trovare un pezzo di terra su cui costruire una casa ecologica che permetta di rispondere a tutte le necessità. Cucinare, avere acqua fresca, essere in grado di eliminare le acque di scarico senza inquinare, disporre dell'elettricità necessaria e vivere in un involucro che ci tenga al caldo». <sup>1</sup>

1- <https://www.swissinfo.ch/ita/scienza-tecnica/dagli-orsi-polari-alle-case-di-paglia/29523620>



Studio di architettura di Werner Schmidt, Trun 2018. Foto di Mathieu Rossi



Werner Schmidt e Mathieu Rossi, Trun 2018  
Foto di Mathieu Rossi

Il 26/07/2018 sono partito per Trun, un piccolo comune del Cantone dei Grigioni dove ha sede lo studio di architettura di Werner Schmidt - ideatore e realizzatore del primo edificio oggetto di studio in questa tesi, Gartist.

Sono arrivato a metà mattinata, come previsto, in questo piccolo paese tra le valli e i boschi elvetici. Lo studio di architettura è situato in una parallela all'asse principale del paese, un po' in disparte. Quando sono entrato mi sembrava l'unione tra uno studio e un laboratorio di artigiano, con macchinari, progetti di design e modellini a non finire.

Accolto da una sua collaboratrice sono stato presentato a Schmidt e al resto dello staff. Si è dedicato completamente a me fin da subito, raccontandomi di come ha iniziato a lavorare con la paglia e da cosa è stato influenzato o meglio ancora ispirato. Ha dimostrato la sua ospitalità ancora una volta invitandomi a mangiare in ufficio con tutti i collaboratori, permettendomi così di parlare anche a livello personale sul mio percorso, speranze e aspettative.



Interno dello studio di Werner Schmidt, Trun.  
Foto di Mathieu Rossi



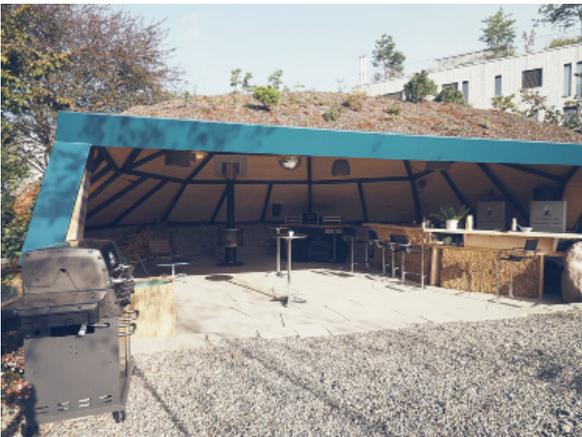
Ingresso dello studio di Werner Schmidt, Trun. Foto di Mathieu Rossi



Magazzino attrezzatura  
<https://gartist.ch/>



Grotto, tettoia aggiunta successivamente, prende il nome dalla sua somiglianza con una grotta per la sua forma  
<https://gartist.ch/>



GROTTO, vista esterna  
<https://gartist.ch/>



Gartist, vista giardino  
<https://gartist.ch/>

## 1.2 Gartist GmbH - nome della società

### PROGETTO

La società Gartist GmbH è composta da una coppia, Joel e Debora Kunz, lui paesaggista e lei erborista, entrambi appassionati del loro mestiere con il bisogno di un spazio adatto a condividere con il pubblico la loro attività.

L'edificio è stato progettato da Werner Schmidt per servire da ufficio per l'azienda e come spazio espositivo per eventi come feste o matrimoni: ma, durante il nostro incontro la signora Kunz mi ha confidato che insieme a suo marito hanno fatto la scelta di trasferirvi tale è il confort al suo interno. Nel progetto dell'architetto, i proprietari hanno voluto aggiungere un magazzino lungo più di 30 m per immagazzinare attrezzi disposto a sud-est della struttura principale.

In un secondo momento, la coppia, decide di ampliare il ventaglio di attività proposte, e con l'aiuto di un carpentiere esterno al progetto, decide di aggiungere una tettoia chiamata Grotto per gli eventi all'aria aperta.

I proprietari non si sono limitati alle scelte architettoniche, ma hanno cercato di mettere in piedi un sistema di produzione sostenibile per essere più autonomi dal punto di vista energetico e alimentare. Infatti sul lato est della struttura, troviamo delle vasche per l'allevamento di pesci di acqua dolce, che vengono nutriti con vermi che a loro volta la coppia nutrono con alveari di api. In queste vasche fanno proliferare delle lenticchie d'acqua che serve per nutrire alcune anatre.

Hanno un piccolo orto idroponico che permette loro di avere alimenti sani e senza uso di pesticidi. L'intenzione era creare un "edificio moderno, ecologico e sostenibile a basso consumo energetico"<sup>3</sup>, afferma Debora Kunz sul suo sito. Il giardino tutto intorno ha come obiettivo di immergere il visitatore in un percorso botanico ed artistico allo stesso tempo.

3 - <https://gartist.ch/>



Gartist, vista su Bubikon  
<https://gartist.ch/>



Grotto, vista interna  
<https://gartist.ch/>



Esempio falsa cupola, villaggio di Bories  
<https://levillagedesbories.com/>



Resti di un'abitazione villaggio di Bories  
<https://levillagedesbories.com/>



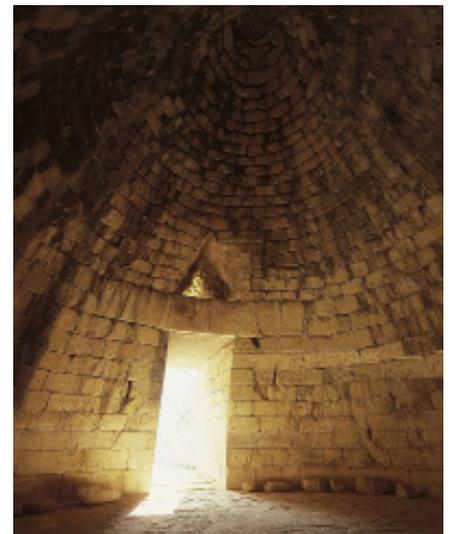
Villaggio di Bories nel Vaucluse  
<https://levillagedesbories.com/>

## A COSA SI ISPIRA

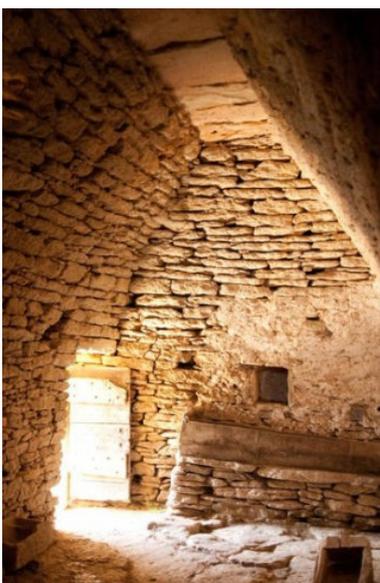
I principi e le tecniche su cui si basa il lavoro di Schmidt cambiano negli anni, andando sempre a cercare di perfezionarsi e migliorare i suoi progetti. Trova ispirazione anche nell'architettura vernacolare, in quanto si basa sui materiali naturali locali e tecniche costruttive semplici.

Per esempio il villaggio di Bories nel Vaucluse.

Questi edifici erano forse originariamente utilizzati come ripari; nel corso dei secoli sono diventati laboratori, magazzini e cantine dei contadini.



Tomba di Agamennone  
<http://artedis952.blogspot.com/2016/09/>



Un'architettura rurale simile per tipologia e tecnica costruttiva sono i trulli in Puglia. Questi edifici che si basano anch'essi sulla costruzione a secco in pietra di false cupole. Le pietre che compongono la struttura della copertura vengono posizionate a sbalzo fino alla distanza di 50-60 cm, concludendo con una grossa lastra che funge da coperchio. Questo tipo di arco offre una maggiore capacità di carico ma non lavora interamente a compressione.

Questa tecnica costruttiva si ritrova in Sardegna nell'architettura nuragica, a Micene nei corridoi della tomba di Agamennone e ancora nella civiltà Maya.

### 1.3 Progetto

Il principio della falsa cupola viene reinterpretato da Schmidt sostituendo la pietra con la paglia e impilando le balle in aggetto verso il centro fino ad incontrarsi. Questo permette di realizzare una struttura auto-portante con relativamente semplice messa in opera, che si assesta prendendo la sua forma definitiva in un lasso di tempo che va dalle 2 alle 8 settimane. Il limite di questo tipo di struttura è la difficoltà nel creare aperture nella copertura e quindi l'illuminazione interna, ragion per cui è stato messo un lucernario.

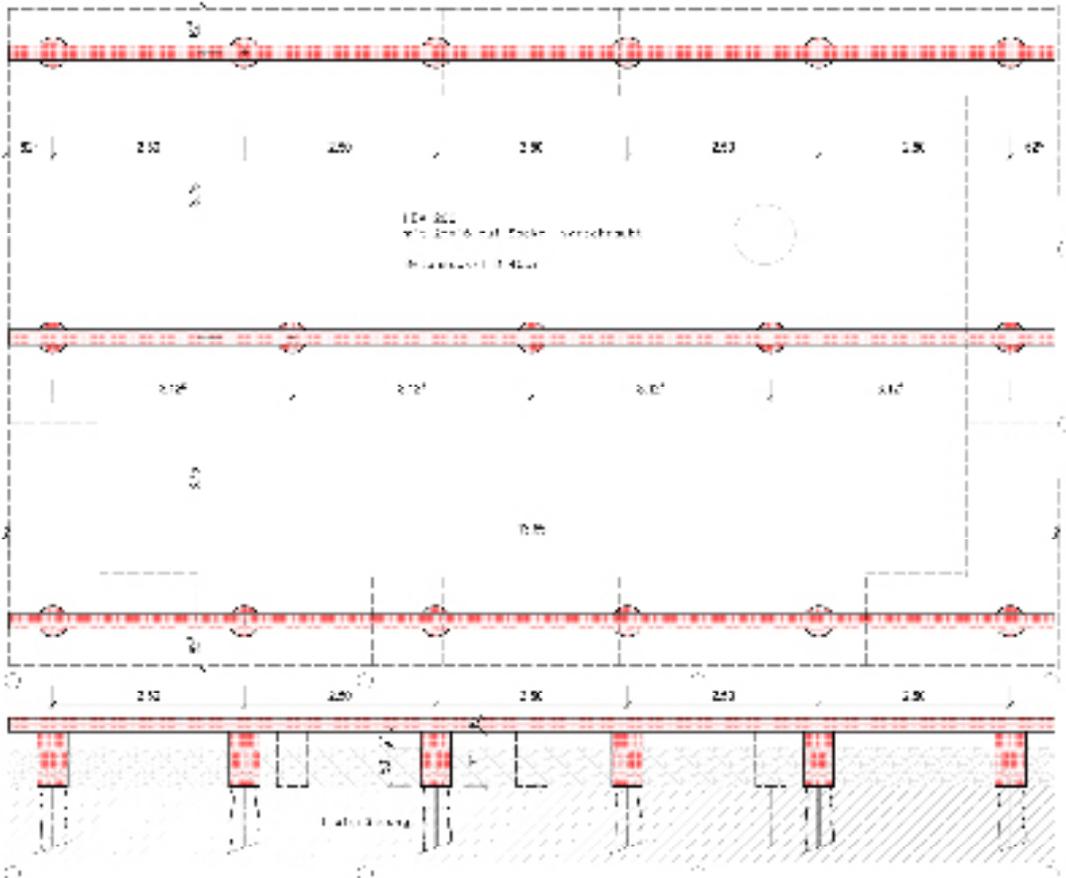
L'impatto ecologico dei suoi edifici è un punto fondamentale per Schmidt per questo motivo la scelta dei materiali viene fatta con attenzione. Schmidt ci tiene a sottolineare che non basta usare energie ottenute da fonti rinnovabili per rendere un edificio sostenibile; le tappe sono tre: la scelta dei materiali da costruzione, l'utilizzo di energie da fonti rinnovabili durante la vita dell'edificio, ed lo smaltimento in quanto il beneficio che si ottiene dalla produzione di energie pulite non basta se poi lo smaltimento produce rifiuti non riciclabili o quasi. Qui come in molti altri edifici Schmidt usa balle jumbo (1,20 m di larghezza, 0,70 m di altezza e 2,50 m di lunghezza). Si ottengono balle di  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{1}{3}$  o  $\frac{1}{4}$ . Una critica che viene mossa nei confronti di Schmidt è l'utilizzo di queste grosse balle jumbo che necessitano di una gru in cantiere, e quindi impedendo l'autocostruzione e richiedendo un qualche impiego di macchinari.



Vista aerea del cantiere  
<https://gartist.ch/>

Tra gli svantaggi dell'utilizzo delle balle di paglia ci sono lo spessore dei muri molto alto, e i limiti nelle forme e dimensioni che la struttura può raggiungere. Secondo Werner Schmidt si potrebbero fare anche strutture più grandi ma questo comporterebbe un ulteriore aumento dello spessore delle pareti. D'altro canto l'utilizzo di muri così spessi ha numerosi vantaggi.

Infatti grazie alla massa delle balle di paglia pressate, Schmidt riesce a ridurre l'utilizzo del legno a quegli elementi indispensabili come le finestre o la struttura del tetto. La ragione è che il legno, nonostante sia un materiale naturale, richiede una maggiore quantità di energia per essere prodotto. Oltre alla paglia e al legno, i materiali più usati sono la pietra per il basamento e intonaco per lo strato protettivo esterno. Una delle peculiarità di questo rivestimento è la traspirabilità che permette di avere un luogo fresco e salubre tutto l'anno, lasciando passare il vapore ma non il calore. L'isolamento termico e acustico e la regolazione del livello di umidità non sono esclusivamente una questione di risparmio di energia ma anche di confort e salubrità per chi vive questi spazi.



SCALA 1:100

Pianta e sezione fondazioni  
Studio Werner Schmidt

La progetto prevede una pianta rettangolare di 113 m<sup>2</sup> articolati su 3 piano: piano terra con l'ingresso, il primo piano con gli uffici e un mezzanino da cui si può accedere al tetto.

I lavori iniziano a cavallo tra ottobre e novembre del 2016. Per accelerare i tempi, oltre a Werner stesso e la sua squadra, la giovane coppia di committenti desiderosa di intraprendere la propria avventura lavorativa si rende disponibile a partecipare al processo costruttivo: arrivando così fino a 13 persone impegnate nel cantiere.

Essendo un terreno particolarmente umido, è stato scelto di fare dei pilastri in calcestruzzo di 40 cm di diametro e lunghi 15 m per raggiungere la parte più compatta del terreno, al di sopra dei quali sono state fissate delle travi HEA 200 su cui appoggiare la struttura.

HEA 200 (fonte [www.oppo.it](http://www.oppo.it))

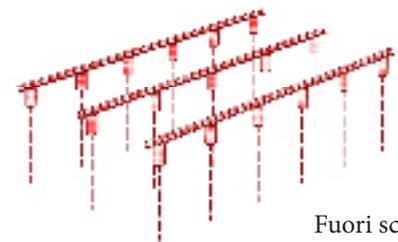
42,3 kg/m x 13,65 m = 577,4 kg. Moltiplicato per il numero di travi (3) = 1732,19 kg

PILASTRI (fonte <http://www.farinaezio.it>)

$\pi \times 0,2^2 \text{ m (raggio)} \times 15 \text{ m (altezza)} = 1,88 \text{ m}^3 \times 18 \text{ (n}^\circ \text{ pilastri)} = 33,92 \text{ m}^3 \times 2500 \text{ kg/m}^3 = 84823 \text{ kg}$

PIETRISCO (fonte [www.studiopetrillo.com](http://www.studiopetrillo.com))

(area base) 13,65 m x 8,65 m x 0,5 m = 59,04 m<sup>3</sup> x 1500 kg/ m<sup>3</sup> = 88554 kg = 88,55 t



Fuori scala



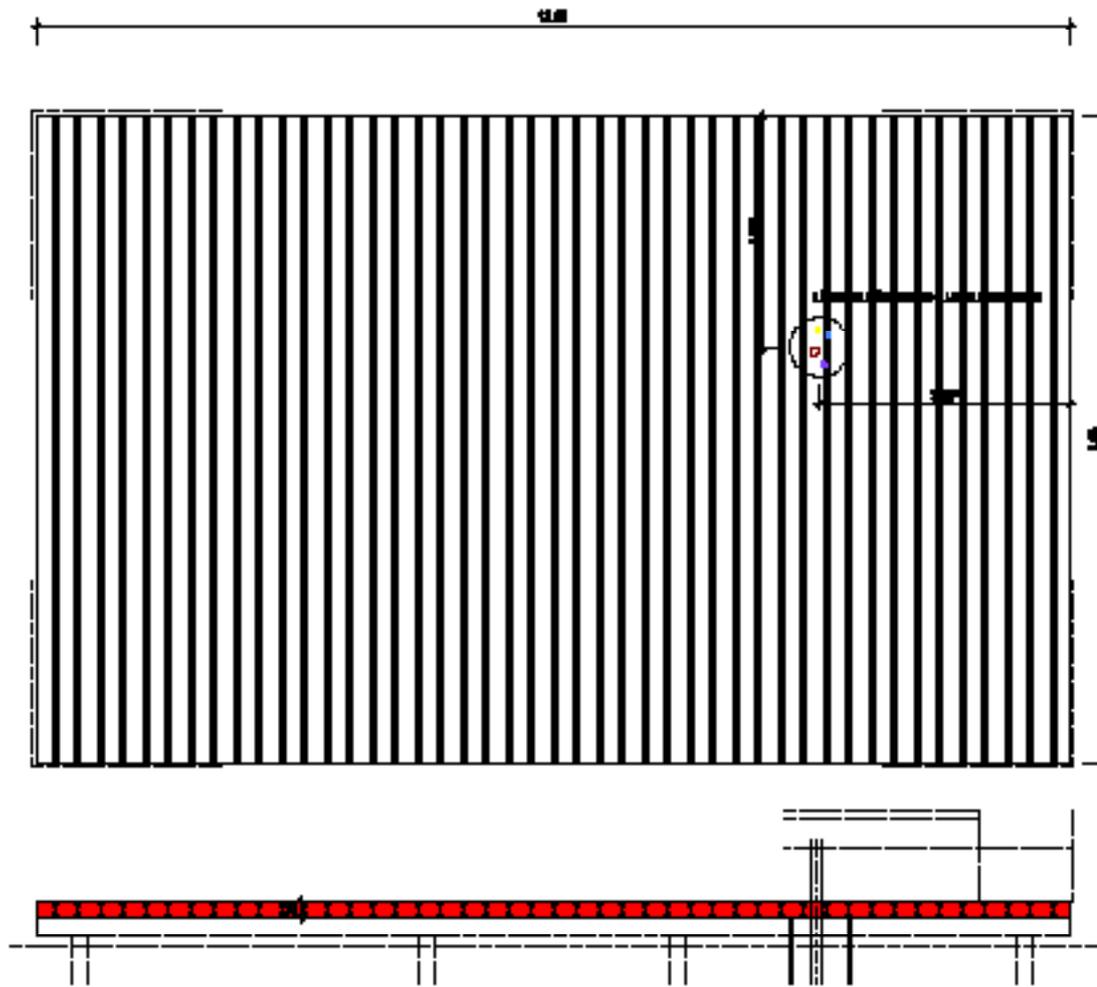
Fondazioni

Foto di Joel Kunz



Fondazioni

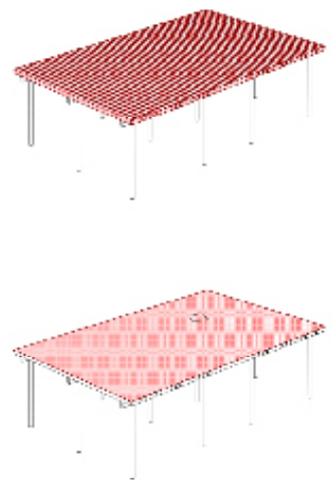
Foto di Joel Kunz



SCALA 1:100

Pianta e sezione basamento struttura  
Studio Werner Schmidt

Questa struttura ha l'obiettivo di mantenere rialzato l'edificio rispetto al livello del suolo, come una palafitta. Lo spazio vuoto al di sotto serve per il serbatoio di raccolta acque piovane, per la ventilazione naturale estiva e ad evitare che la paglia sia a contatto con il suolo e sia danneggiata dalla risalita capillare. La paglia essendo un materiale naturale è soggetto a marcescenza causato dall'umidità.



Fuori scala

#### PIATTAFORMA DI LEGNO

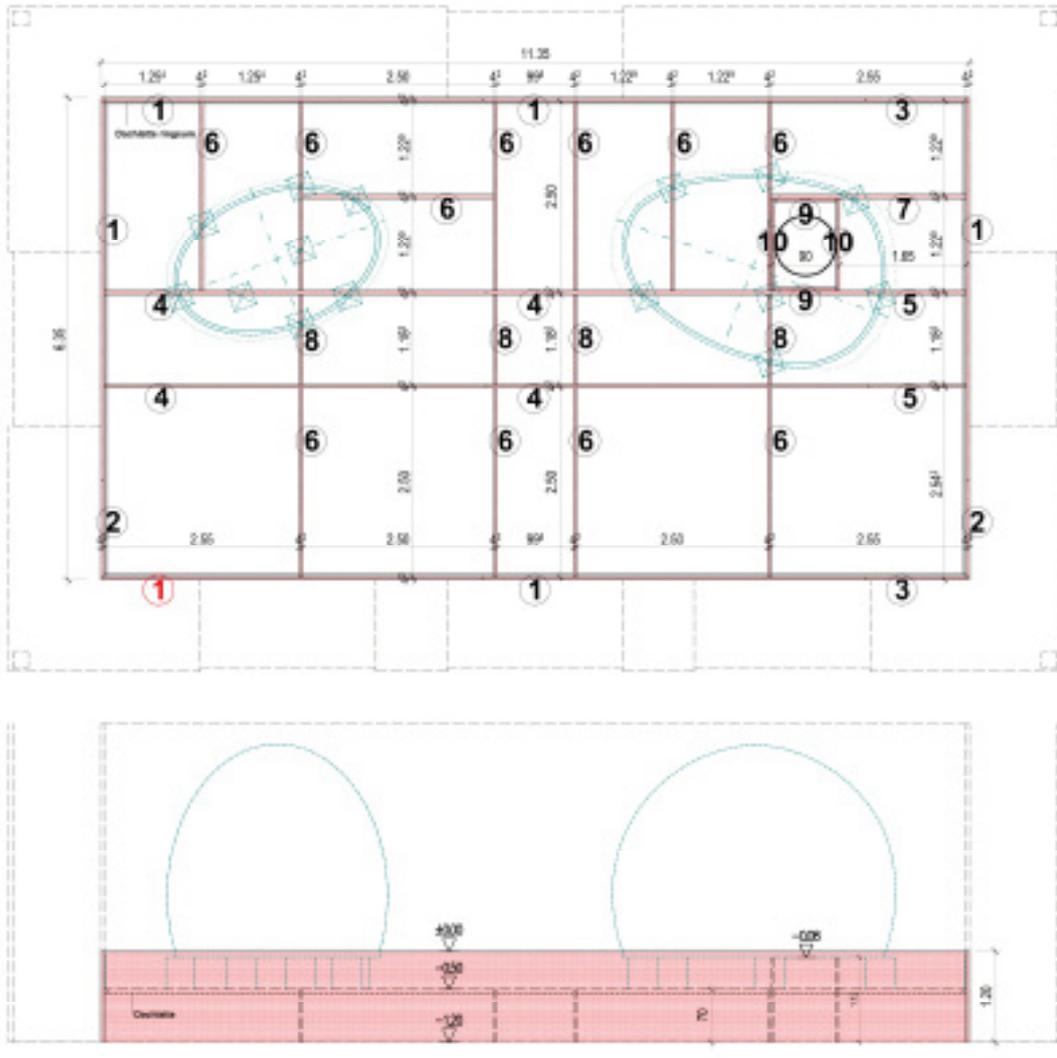
dimensione travi = 13,65 m / 45 (n° di travi) = 0,30 m  
 $0,2 \text{ m} \times 0,3 \text{ m} \times 8,65 \text{ m} = 0,519 \text{ m}^3 \times n^{\circ}45 = 23,36 \text{ m}^3 \times 450$   
 $\text{kg/m}^3 = 10512 \text{ kg} = 10,51 \text{ t}$

#### FELTRO

$s = 4\text{mm} \Rightarrow 1,12 \text{ kg/m}^2$   
 $A = 8,65 \text{ m} \times 13,65 \text{ m} = 118,07 \text{ m}^2$   
 $1,12 \text{ kg/m}^2 \times 118,07 \text{ m}^2 = 132,24 \text{ kg}$



Basamento  
Foto di Joel Kunz

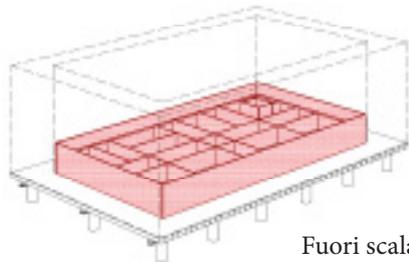


SCALA 1:100

Suddivisione basamento

Studio Werner Schmidt

Il passo successivo è quello di comporre una griglia con pannelli di legno che verranno in seguito riempiti con balle di paglia per isolamento. Con l'uso di una gru le balle di varie dimensioni vengono inserite direttamente nei vani.



Fuori scala

### LEGNO

- 1) 6x 5,0 m x 1,2 m x 0,042 m = 1,512 m<sup>3</sup>
- 2) 2x 1,266 m x 1,2 m x 0,042 m = 0,128 m<sup>3</sup>
- 3) 2x 1,35 m x 1,2 m x 0,042 m = 0,136 m<sup>3</sup>
- 4) 4x 5,0 m x 0,7 m x 0,042 m = 0,588 m<sup>3</sup>
- 5) 2x 1,266 m x 0,7 m x 0,042 m = 0,074 m<sup>3</sup>
- 6) 11x 2,5 m x 0,7 m x 0,042 m = 0,809 m<sup>3</sup>
- 7) 1x 2,55 m x 0,7 m x 0,042 m = 0,075 m<sup>3</sup>
- 8) 4x 1,182 m x 0,7 m x 0,042 m = 0,139 m<sup>3</sup>
- 9) 2x 0,816 m x 1,12 m x 0,042 m = 0,077 m<sup>3</sup>
- 10) 2x 1,229 m x 1,12 m x 0,042 m = 0,116 m<sup>3</sup>

$$\text{TOT} = 3,654 \text{ m}^3 \Rightarrow 450 \text{ kg/m}^3 \times 3,654 \text{ m}^3 = 1644 \text{ kg}$$



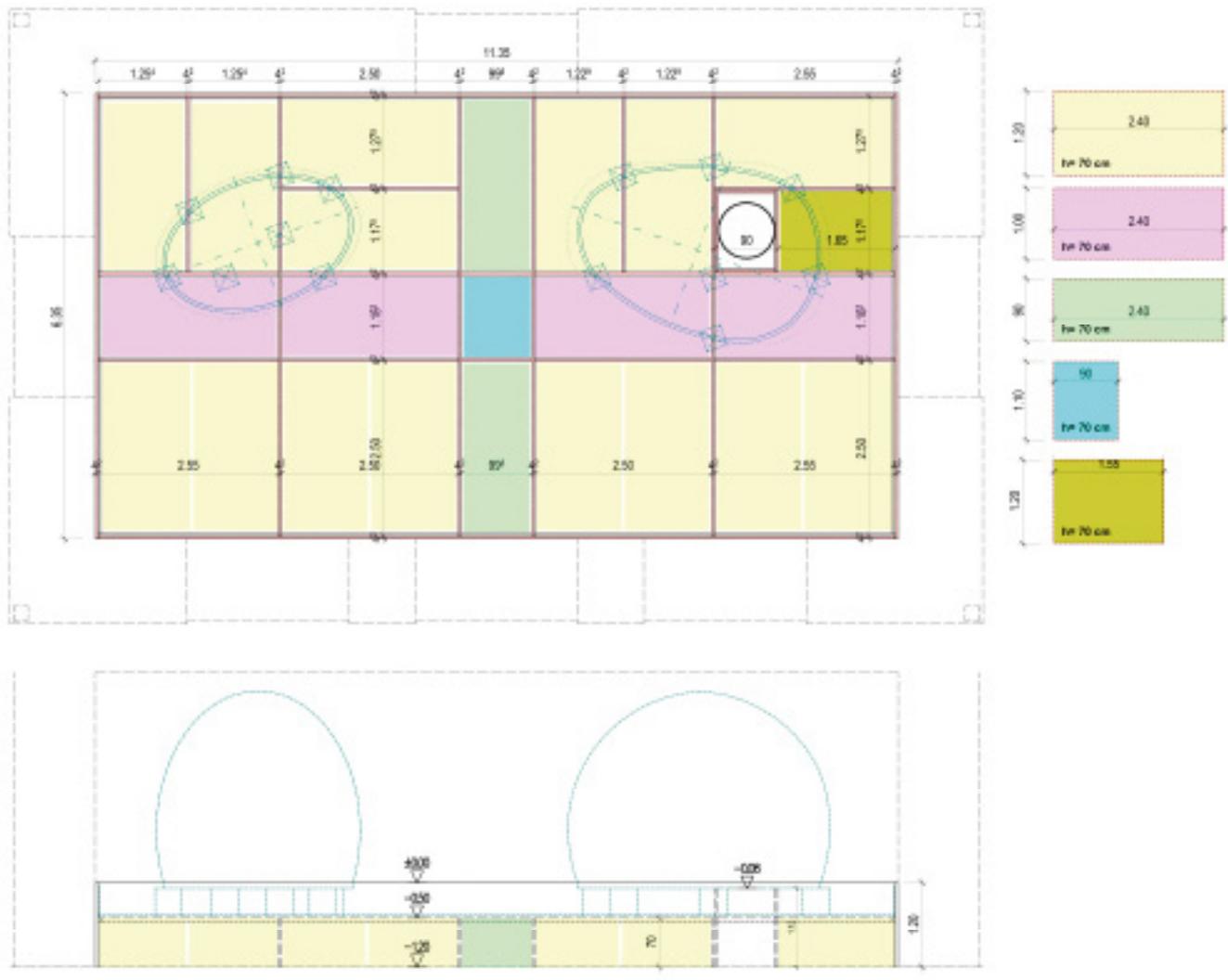
Pannelli in legno per la separazione

Foto di Joel Kunz



Pannelli in legno per la separazione

<https://gartist.ch/>



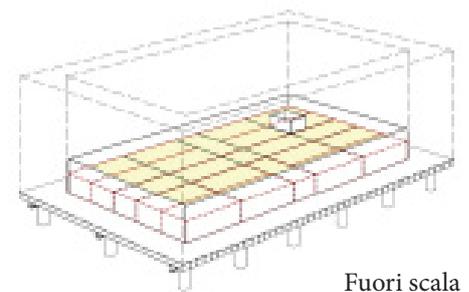
SCALA 1:100

Riempimento basamento in balle di paglia  
Studio Werner Schmidt

### PAGLIA

- 1) 15x 0,7 m x 1,2 m x 2,4 m = 30,24 m<sup>3</sup>
- 2) 4x 0,7 m x 1,0 m x 2,4 m = 6,72 m<sup>3</sup>
- 3) 2x 0,7 m x 0,9 m x 2,4 m = 3,024 m<sup>3</sup>
- 4) 1x 0,7 m x 1,1 m x 0,9 m = 0,693 m<sup>3</sup>
- 5) 1x 0,7 m x 1,2 m x 1,55 m = 1,302 m<sup>3</sup>

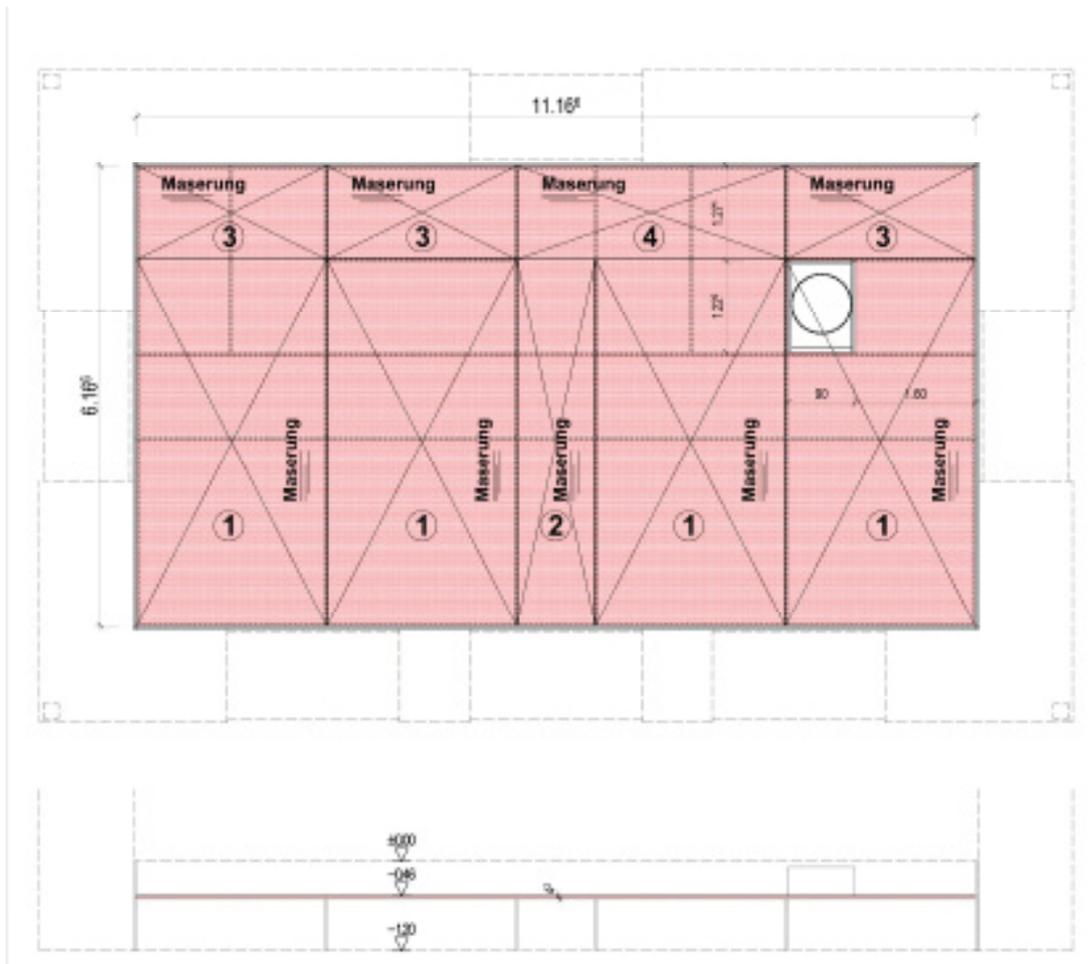
$$\text{TOT} = 41,307 \text{ m}^3 \Rightarrow 150 \text{ kg/m}^3 \times 41,307 \text{ m}^3 = 6196 \text{ kg}$$



Fuori scala



Operai livellano il basamento  
<https://gartist.ch/>



SCALA 1:100

Pianta e sezione pannello di protezione paglia  
Studio Werner Schmidt

Dopo aver sigillato il tutto con un pannello di legno, la base viene ricoperta di pietrisco (tranne che nel pozzo degli impianti) per servire da base per le strisce radianti. A loro volta le strisce sono ricoperte da altro pietrisco che viene pressato per mezzo di un macchinario. Il passo successivo è creare le basi in cls per i due spazi chiusi al piano terra, ovvero i servizi igienici e la cucina con ripostiglio annesso.

#### PANNELLI DI LEGNO

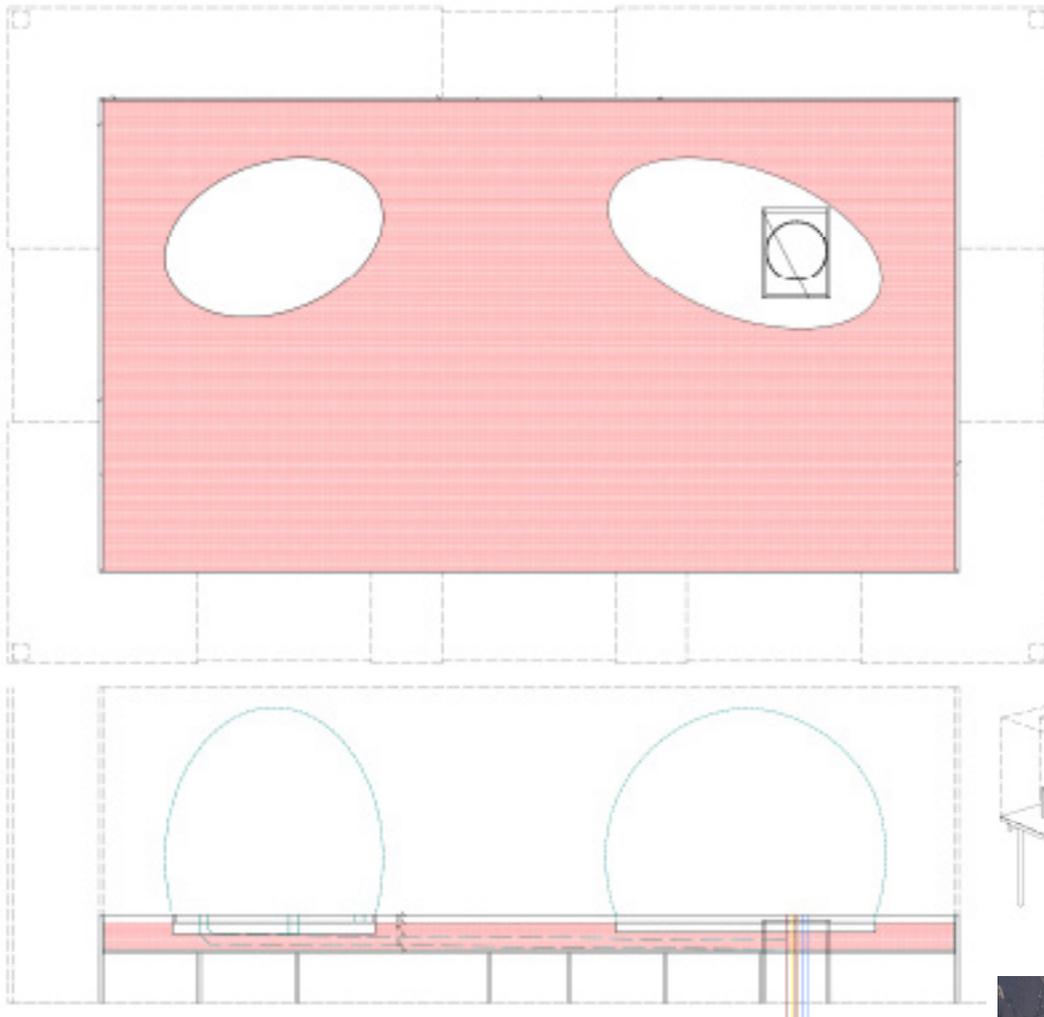
- 1) 4x 2,53 m x 4,916 m x 0,042 m = 2,089 m<sup>3</sup>
  - 2) 1x 1,46 m x 4,916 m x 0,042 m = 0,301 m<sup>3</sup>
  - 3) 3x 2,53 m x 1,25 m x 0,042 m = 0,398 m<sup>3</sup>
  - 4) 1x 3,576 m x 1,25 m x 0,042 m = 0,188 m<sup>3</sup>
- => 450 kg/m<sup>3</sup> x 2,976 m<sup>3</sup> = 1339 kg



Strato di ghiaia che ricopre i pannelli in legno  
<https://gartist.ch/>



Posa delle strisce radianti  
<https://gartist.ch/>



Fuori scala

SCALA 1:100

Strato di ghiaia e base per i moduli “uova di drago”  
Studio Werner Schmidt

Come ultimo passaggio vengono posizionate grosse lastre di pietra ollare che hanno un doppio scopo: “piastrelle” con un diametro che va dai 50 cm a 200 cm (spessore 5/7cm), e immagazzinare il calore sprigionato dal riscaldamento a pavimento, rilasciandolo molto lentamente.

Scelte direttamente dai committenti in una cava di pietra, le lastre sono state tagliate in cantiere. Sono chiamate “DISCUS” e sono un’idea dell’azienda Gartist.

#### GHIAIA

spessore = 0,36 m

area = 6,616 m x 11,166 m = 73,87 m<sup>2</sup> x 0,36 m = 26,59 m<sup>3</sup> - [aree basi “uova di drago” (6,41 m<sup>2</sup> + 4,76 m<sup>2</sup>) x spessore base (0,15 m)] = 24,91 m<sup>3</sup>  
=> 1600 kg/m<sup>3</sup> x 24,91 m<sup>3</sup> = 39856 kg

#### LASTRE DI PIETRA

Poiché la forma delle lastre di pietra varia da una all’altra. Ipotizzo che le la superficie del piano sia quasi interamente ricoperta di pietra, con uno spessore di 5cm:

superficie totale: 11,35 m x 6,35 m = 72,07 m<sup>2</sup>

9/10 x 72,07 m<sup>2</sup> x 0,05 m = 3,24 m<sup>3</sup> => 2850 kg/m<sup>3</sup> x 3,24 m<sup>3</sup> = 9234 kg

MALTA DI ALLETTAMENTO (fonte <http://img.edilportale.com/catalogs/>)

1/10 x 72,07 m<sup>2</sup> x 0,05 m = 0,36 m<sup>3</sup> => 1680 kg/m<sup>3</sup> x 0,36 m<sup>3</sup> = 604 kg



Dettaglio tagli pietra ollare  
<https://gartist.ch/>

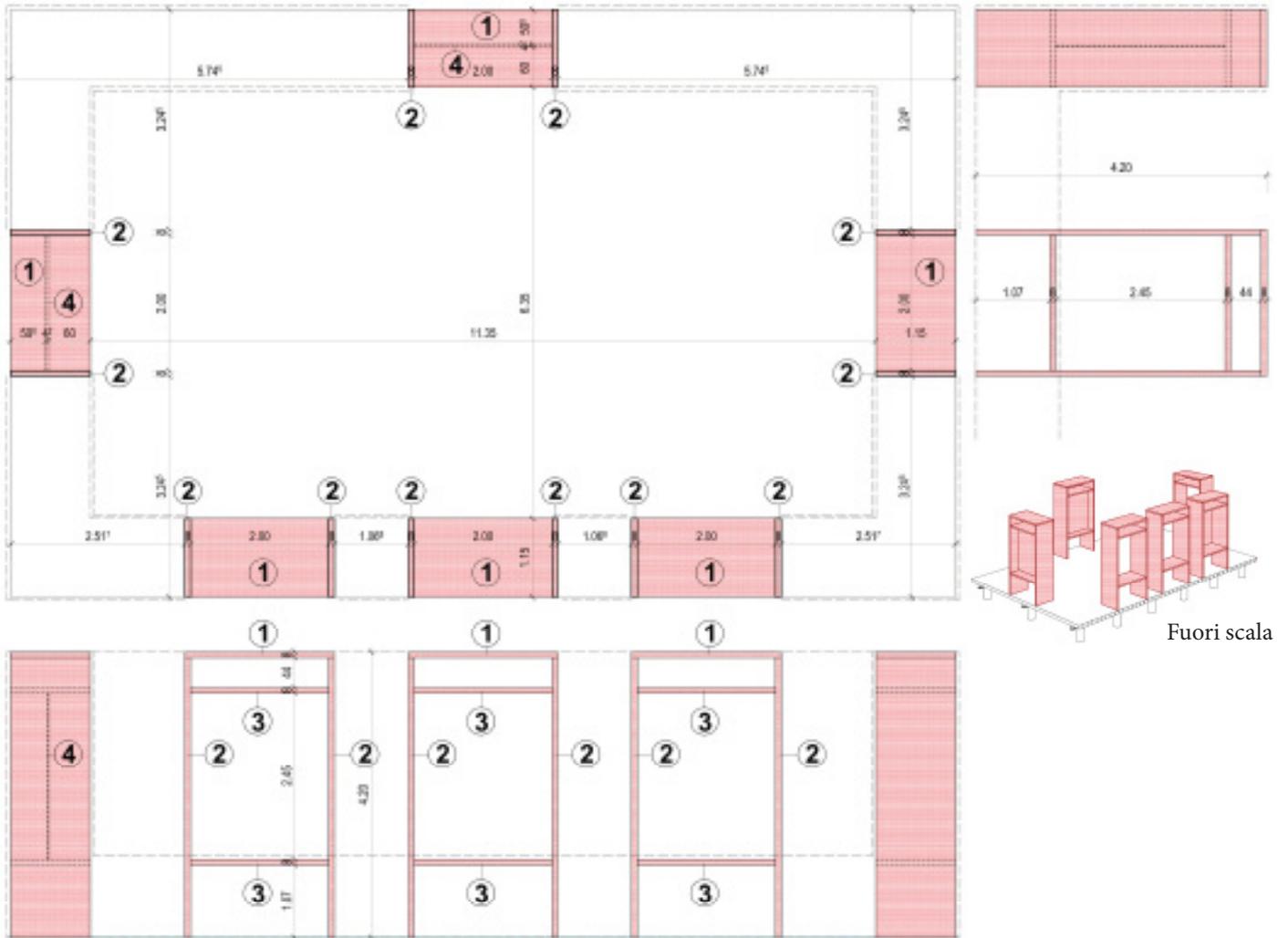


Foto superiore: pietra ollare scelta alla cava

Foto inferiore: posa delle lastre di pietra ollare

Foto di Joel Kunz





SCALA 1:100

Prefabbricati scatolari  
Studio Werner Schmidt

L'intera base viene conclusa in una sola settimana, dopodiché viene messo in stand-by in attesa della primavera. Il 6 marzo i lavori riprendono; il primo passo è il posizionamento di grandi scatole di legno che non hanno la funzione di sostenere i carichi: lo si nota dalla loro esile struttura. Il loro scopo è quello di rendere più facile il fissaggio degli infissi nei muri che saranno composti di balle di paglia.

LEGNO STRATIFICATO DI ABETE ROSSO

- 1) 5x 2,16 m x 1,15 m x 0,08 m = 0,99 m<sup>3</sup>
- 2) 12x 4,12 m x 1,15 m x 0,08 m = 4,55 m<sup>3</sup>
- 3) 12x 2,00 m x 1,15 m x 0,08 m = 2,21 m<sup>3</sup>
- 4) 2x 2,45 m x 2,00 m x 0,042 m = 0,41 m<sup>3</sup>
- TOT = 8,16 m<sup>3</sup> => 450 kg/m<sup>3</sup> x 8,16 m<sup>3</sup> = 3672 kg

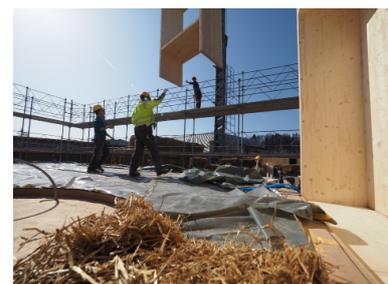
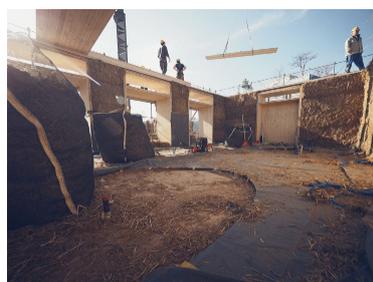


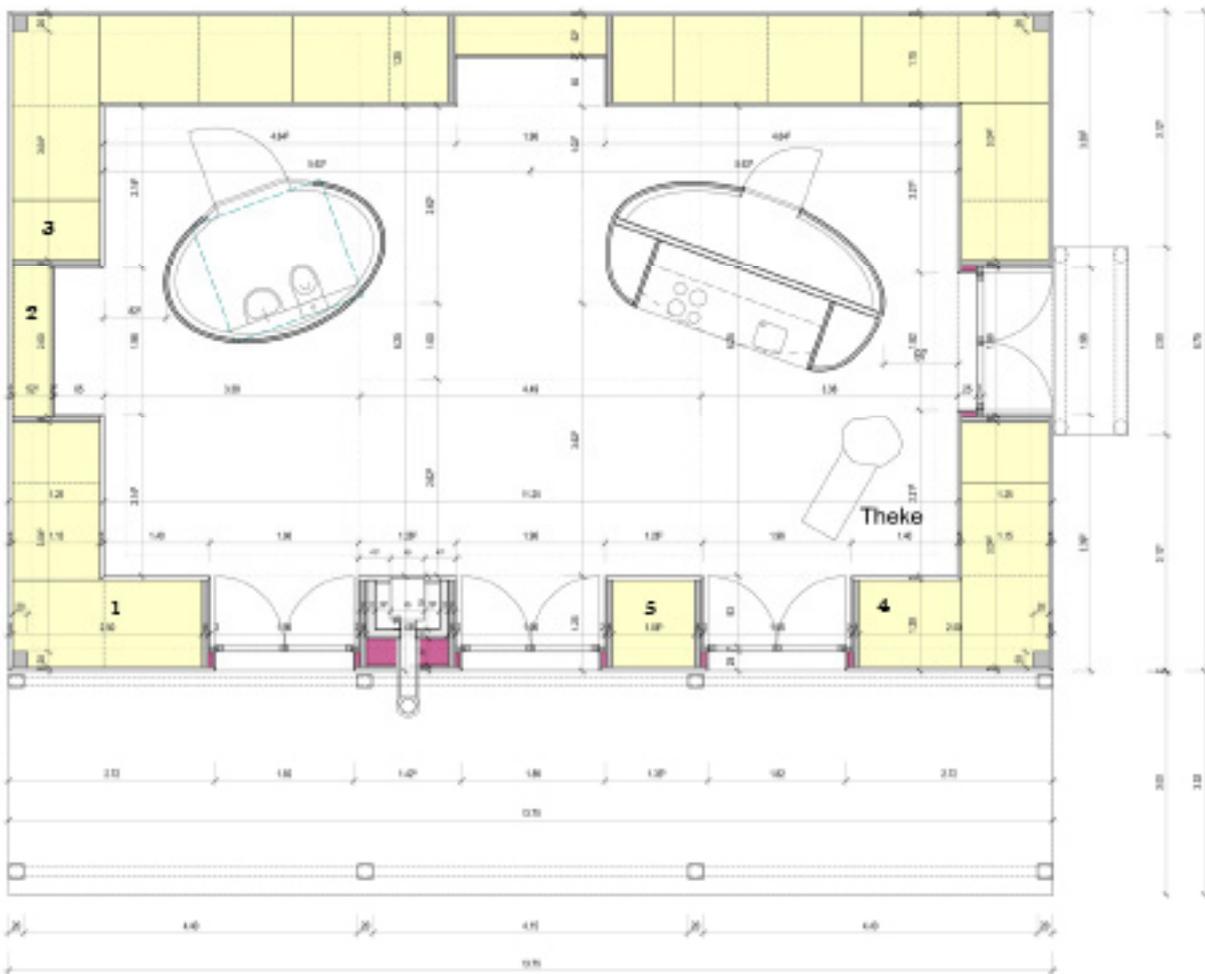
Foto superiore: posa prefabbricati tramite una gru

Foto inferiore: vista aerea scatole  
Foto di Joel Kunz



Vista interna dei moduli scatolari  
<https://gartist.ch/>





SCALA 1:100

Pianta piano terra

Studio Werner Schmidt

### PAGLIA

balle di paglia per corso:

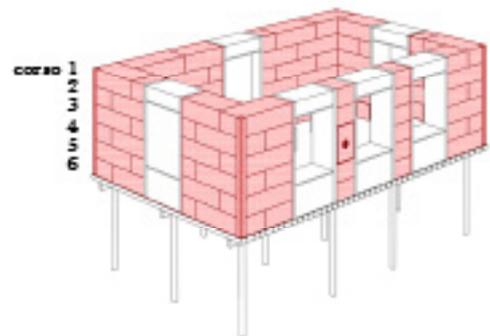
- 1) 9x 2,5 m x 1,15 m x 0,7 m = 18,11 m<sup>3</sup>
- 2) 2x 2,00 m x 0,523 m x 0,7 m = 1,46m<sup>3</sup>
- 3) 3x 0,8 m x 1,15 m x 0,7 m = 1,93 m<sup>3</sup>
- 4) 1x 1,3 m x 1,15 m x 0,7 m = 1,05 m<sup>3</sup>
- 5) 2x 1,08 m x 1,15 m x 0,7 m = 1,74 m<sup>3</sup>

TOT = 24,29 m<sup>3</sup>

moltiplicato per 6 corsi, sottraendo lo spazio occupato dalla stufa

$$24,29 \times 6 = 145,74 \text{ m}^3 - 1,74 \text{ m}^3 = 144 \text{ m}^3$$

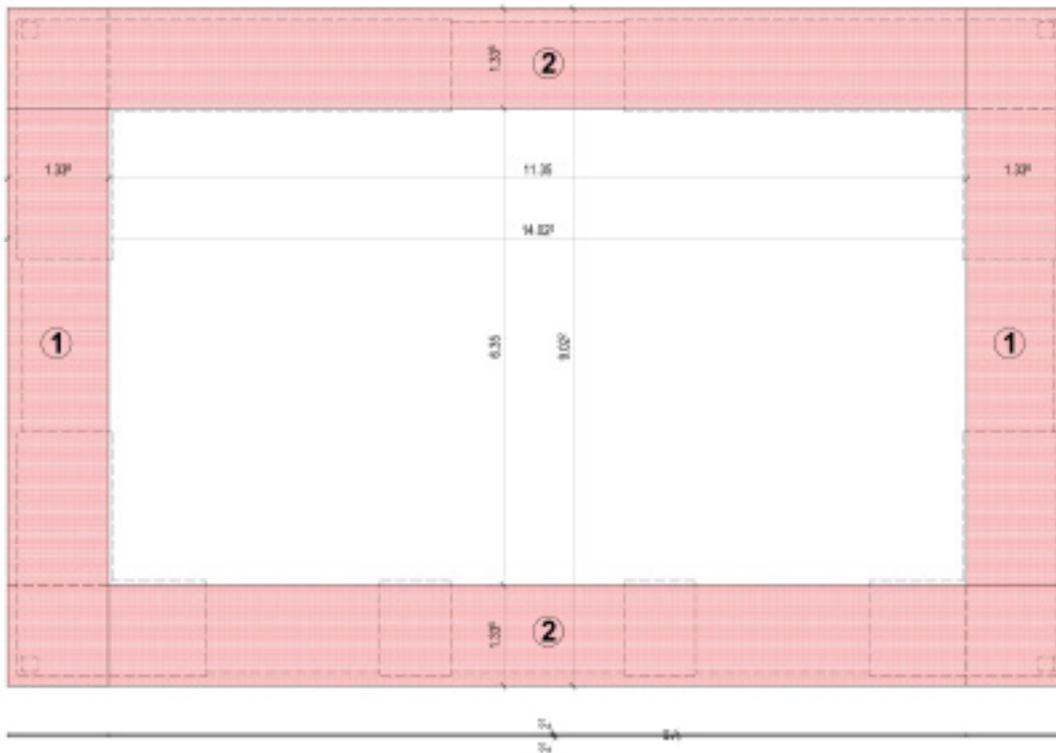
$$144 \text{ m}^3 \times 150 \text{ kg/m}^3 = 21600 \text{ kg}$$



Fuori scala

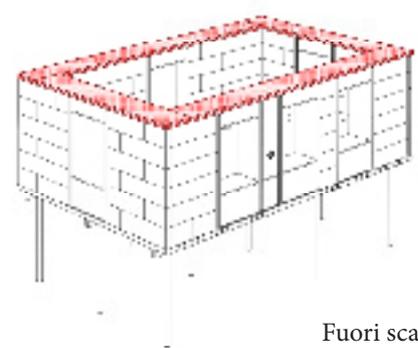


Posa balle di paglia muri perimetrali  
Foto di Joel Kunz



SCALA 1:100  
 Pannelli di legno  
 Studio Werner Schmidt

Per permettere l'ancoraggio tra un corso e l'altro di balle di paglia viene posizionata sul perimetro una serie di pannelli di legno che formano un cordolo, su cui appoggiare le balle di paglia successive. Sovrapponendo due strati di 8 cm l'uno si crea uno strato rigido che distribuisce le sollecitazioni sulla struttura.



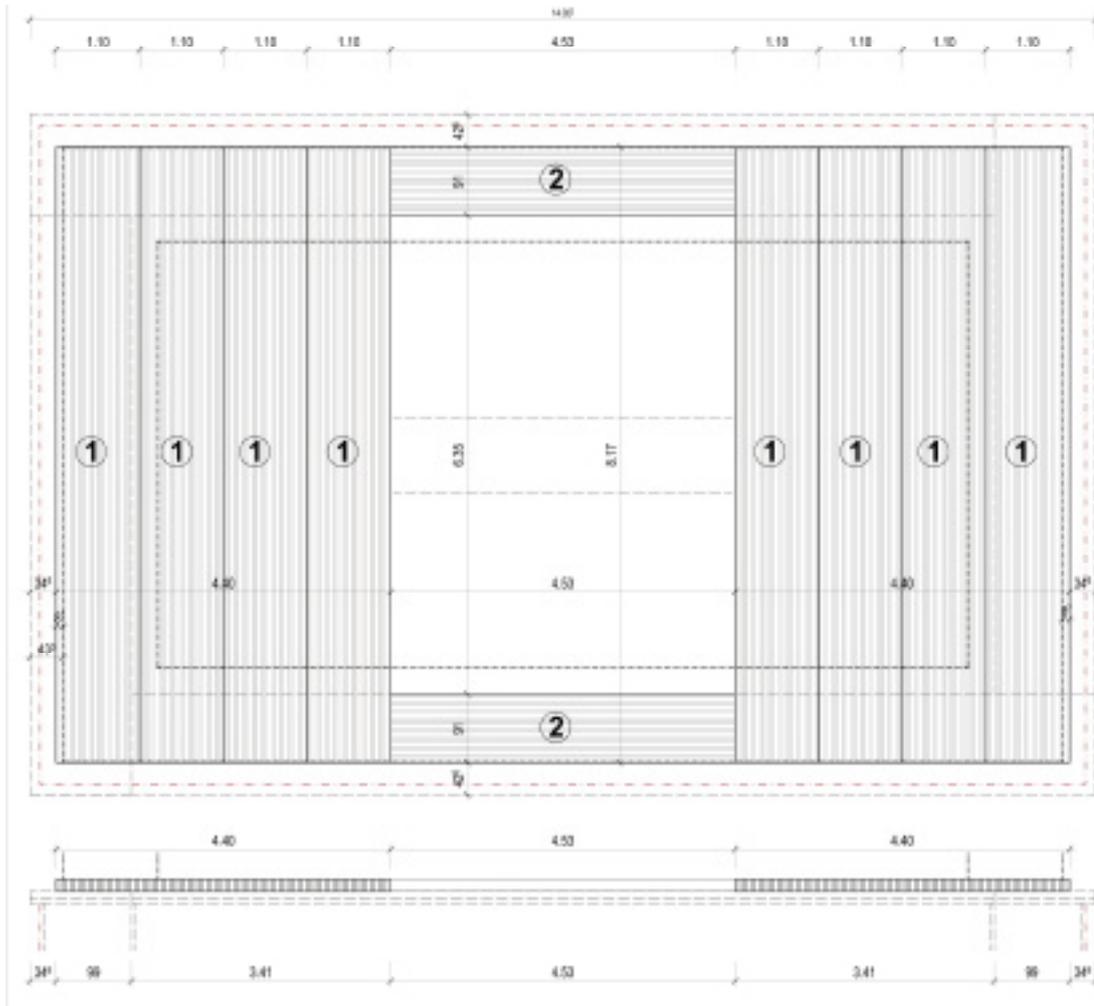
Fuori scala

#### PANNELLI LAMINATO DI ABETE ROSSO

- 1) 4x 7,686 m x 1,336 m x 0,027 m = 1,11 m<sup>3</sup>
- 2) 4x 12,686 m x 1,336 m x 0,027 m = 1,83 m<sup>3</sup>
- TOT = 2,94 m<sup>3</sup> x 450 kg/m<sup>3</sup> = 1323 kg



Posa pannelli di legno  
 Foto di Joel Kunz



SCALA 1:100

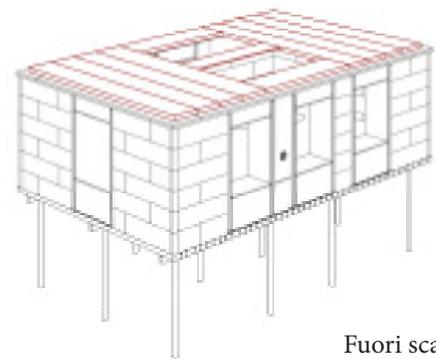
Pianta solaio interpiano

Studio Werner Schmidt

### SOLAIO IN LEGNO PRIMO PIANO

- 1) 8x 8,17 m x 1,1 m x 0,16 m = 11,5 m<sup>3</sup>
- 2) 2x 4,53 m x 0,91 m x 0,16 m = 1,32 m<sup>3</sup>

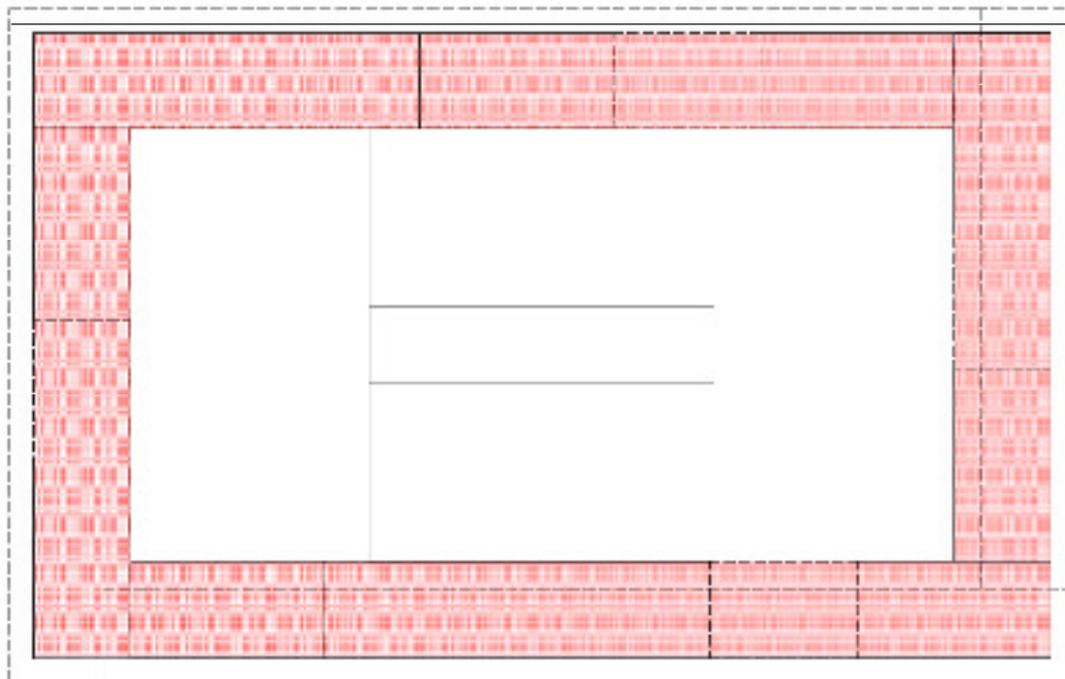
$$\text{TOT} = 12,82 \text{ m}^3 \times 450 \text{ kg/m}^3 = 5769 \text{ kg}$$



Fuori scala



Vista solaio interpiano  
Foto di Joel Kunz



SCALA 1:100

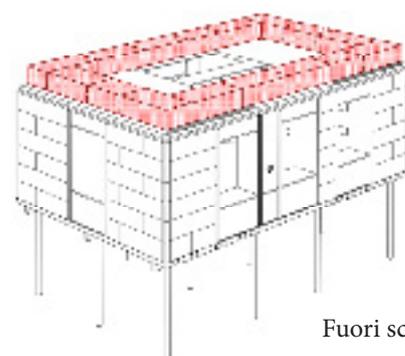
Corso di balle di paglie  
Studio Werner Schmidt

#### PAGLIA - BALLE JUMBO E SOTTOMULTIPLI

$$1) 12x \quad 2,5 \text{ m} \times 1,25 \text{ m} \times 0,7 \text{ m} = 26,25 \text{ m}^3$$

$$2) 4x \quad 1,9 \text{ m} \times 1,25 \text{ m} \times 0,7 \text{ m} = 6,65 \text{ m}^3$$

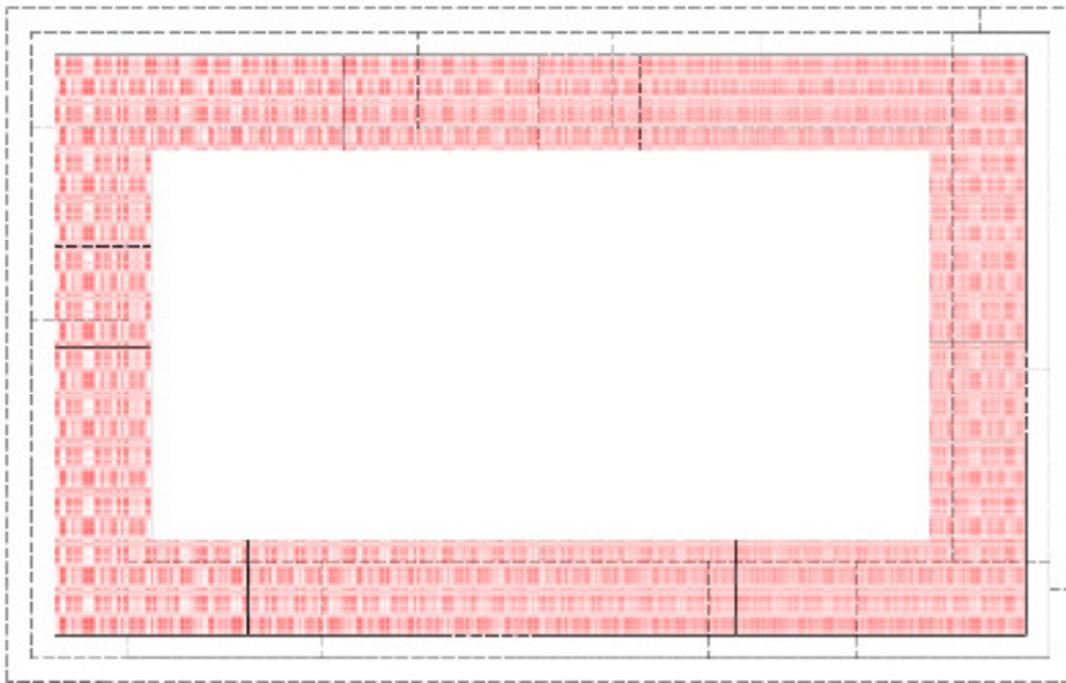
$$\text{TOT} = 32,9 \text{ m}^3 \times 150 \text{ kg/m}^3 = 4935 \text{ kg}$$



Fuori scala



Vista solaio interpiano  
Foto di Joel Kunz



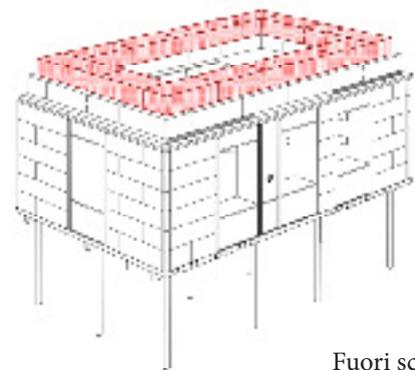
SCALA 1:100

Corso di balle di paglie  
Studio Werner Schmidt

#### PAGLIA - BALLE JUMBO E SOTTOMULTIPLI

- 1) 12x 2,5 m x 1,25 m x 0,7 m = 26,25 m<sup>3</sup>
- 2) 4x 1,3 m x 1,25 m x 0,7 m = 4,55 m<sup>3</sup>

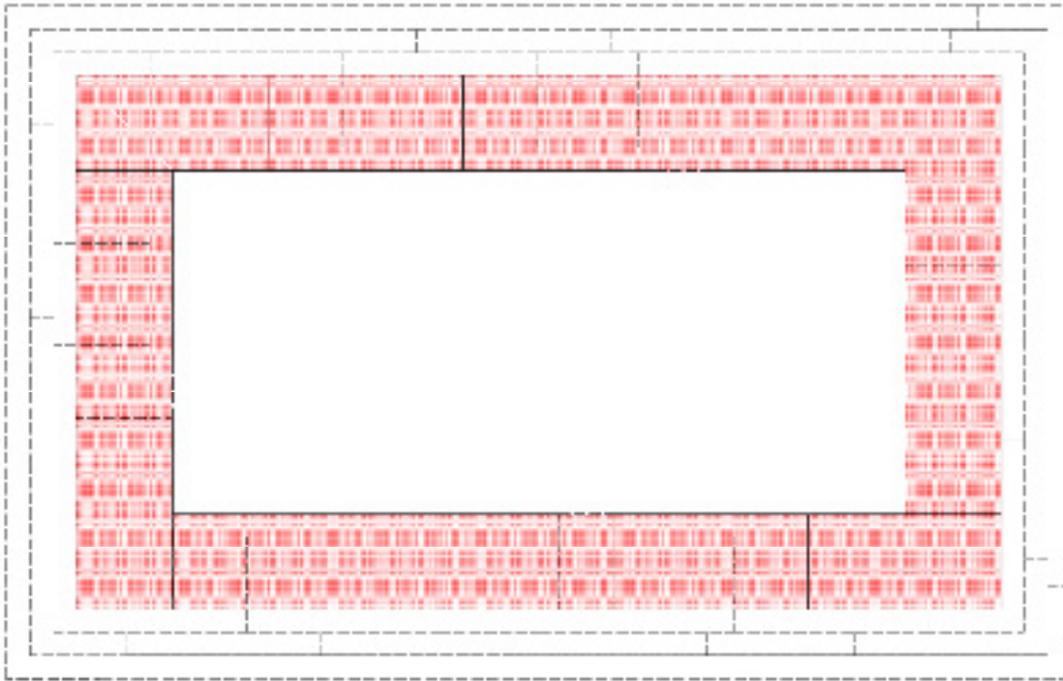
$$\text{TOT} = 30,8 \text{ m}^3 \times 150 \text{ kg/m}^3 = 4620 \text{ kg}$$



Fuori scala



Vista sud cantiere  
Foto di Joel Kunz



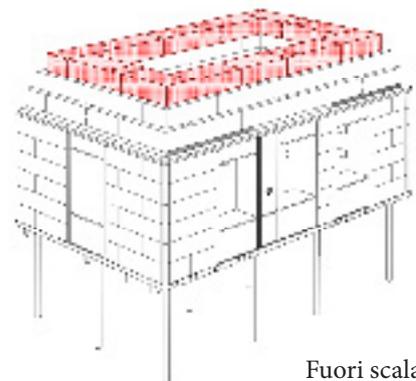
SCALA 1:100

Corso di balle di paglie  
Studio Werner Schmidt

PAGLIA - BALLE JUMBO E SOTTOMULTIPLI

- 1) 12x 2,5 m x 1,25 m x 0,7 m = 26,25 m<sup>3</sup>
- 2) 4x 0,72 m x 1,25 m x 0,7 m = 2,52 m<sup>3</sup>

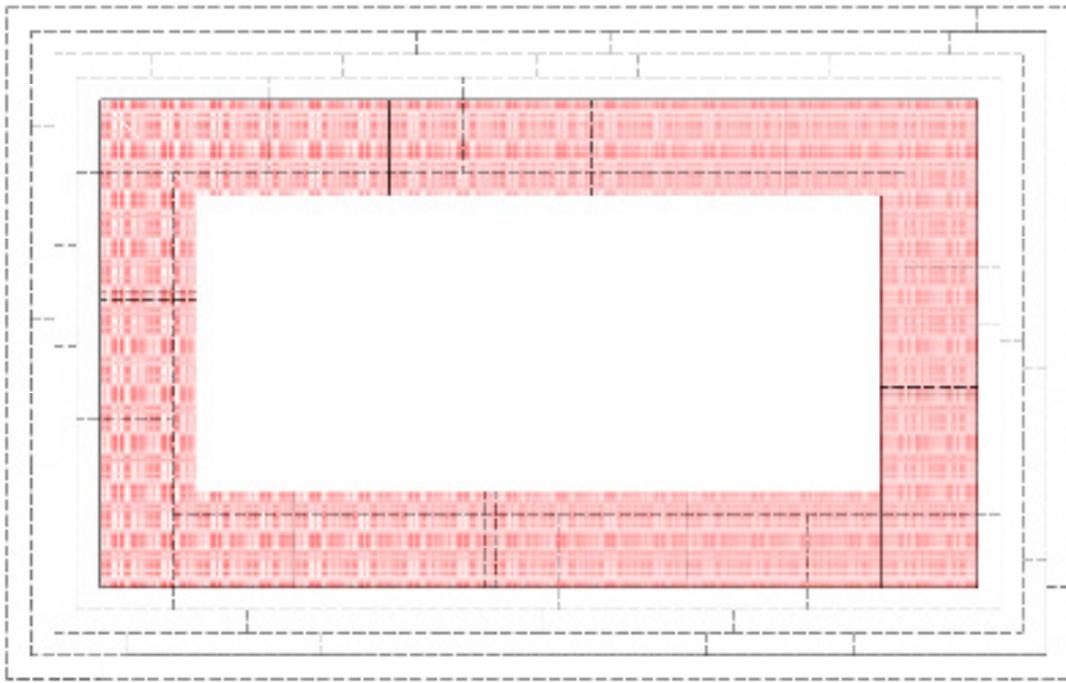
TOT = 28,77 m<sup>3</sup> x 150 kg/m<sup>3</sup> = 4315 kg



Fuori scala



Successione dei corsi in balle di paglia  
Foto di Joel Kunz



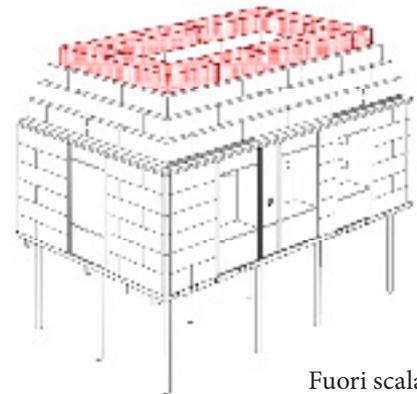
SCALA 1:100

Corso di balle di paglie  
 Studio Werner Schmidt

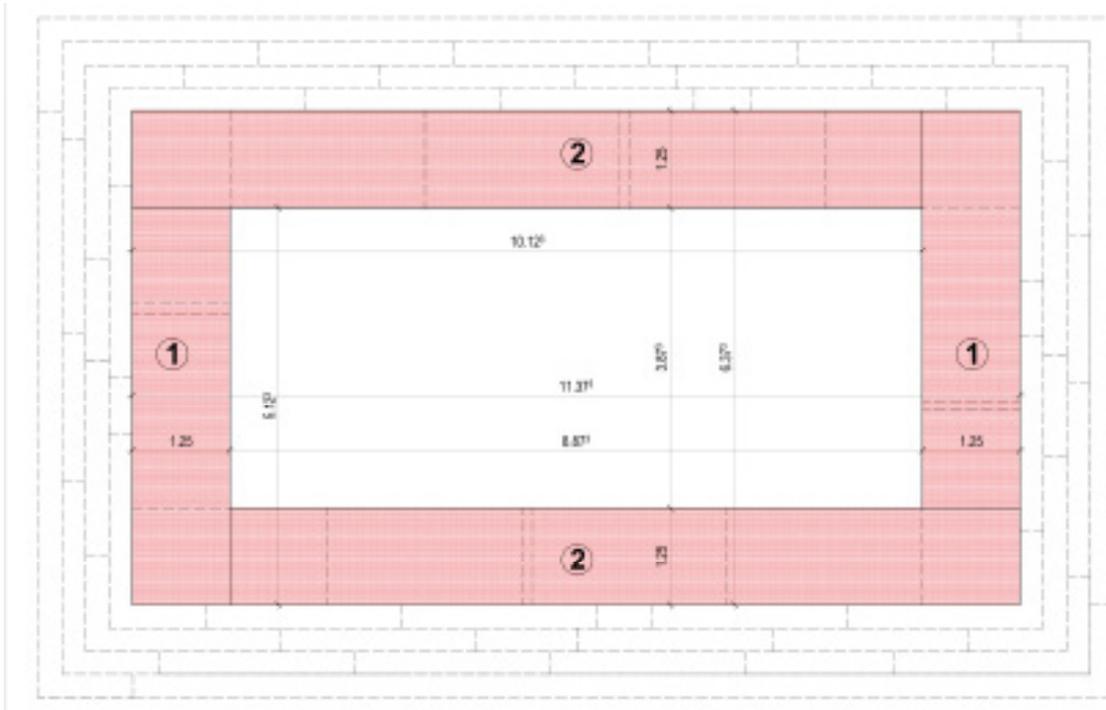
PAGLIA - BALLE JUMBO

$$1) 12 \times 2,5 \text{ m} \times 1,25 \text{ m} \times 0,7 \text{ m} = 26,25 \text{ m}^3$$

$$\text{TOT} = 26,25 \text{ m}^3 \times 150 \text{ kg/m}^3 = 3937,5 \text{ kg}$$



Fuori scala



SCALA 1:100

Secondo livello pannelli di legno

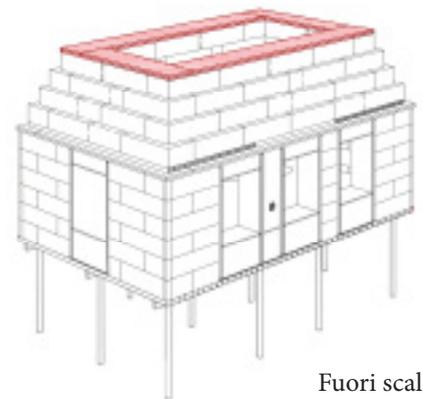
Studio Werner Schmidt

### PANNELLI DI LEGNO

$$1) 4x \quad 5,123 \text{ m} \times 1,25 \text{ m} \times 0,027 \text{ m} = 0,69 \text{ m}^3$$

$$2) 4x \quad 10,123 \text{ m} \times 1,25 \text{ m} \times 0,027 \text{ m} = 1,37 \text{ m}^3$$

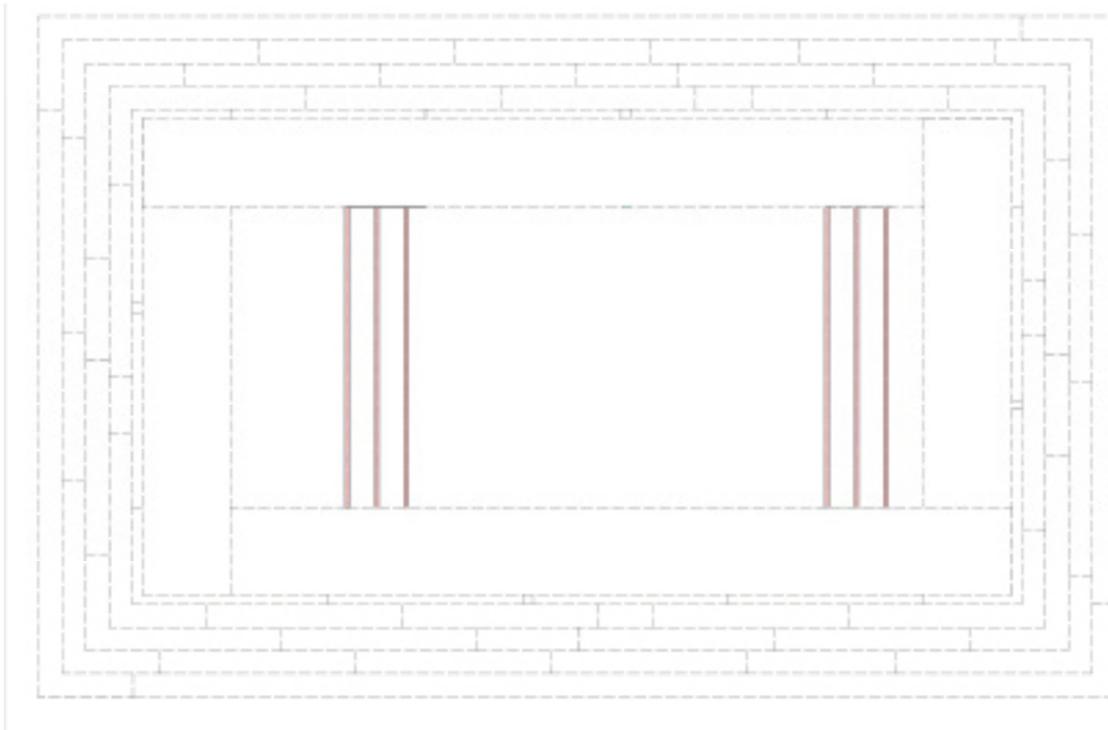
$$\text{TOT} = 2,06 \text{ kg/m}^3 \times 450 \text{ kg/m}^3 = 927 \text{ kg}$$



Fuori scala



Vista sud cantiere  
Foto di Joel Kunz



SCALA 1:100

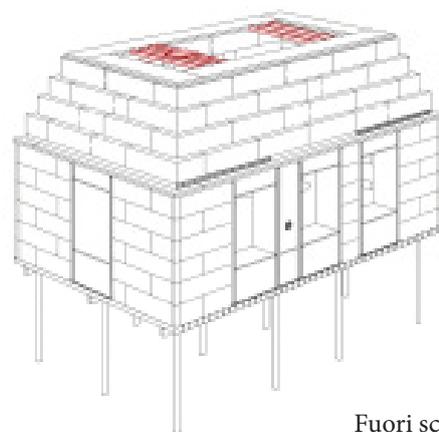
Travi di controvento  
Studio Werner Schmidt

A livello degli interpiani vengono inserite delle travi in legno come controventi per compensare le sollecitazioni orizzontali a cui è sottoposto l'edificio.

#### TRAVI DI LEGNO

$$1) 7 \times 0,08 \text{ m} \times 0,2 \text{ m} \times 3,873 \text{ m} = 0,43 \text{ m}^3$$

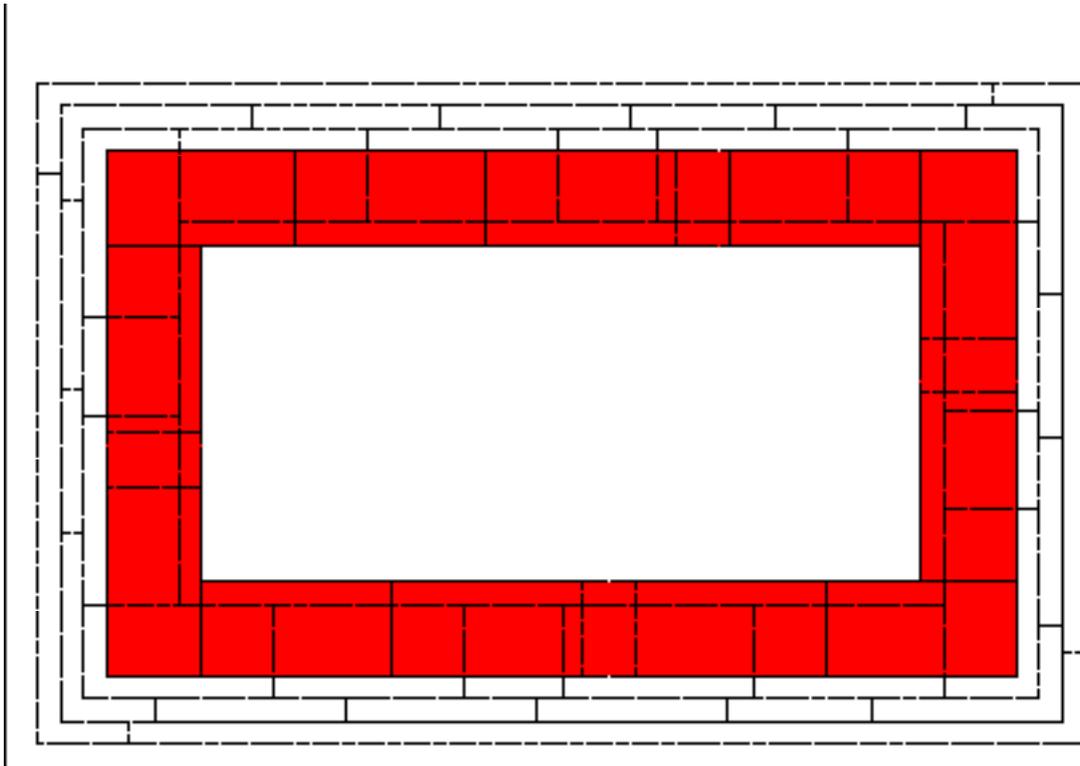
$$\text{TOT} = 0,43 \text{ m}^3 \times 450 \text{ kg/m}^3 = 193 \text{ kg}$$



Fuori scala



Volume interno copertura  
Foto di Joel Kunz



SCALA 1:100

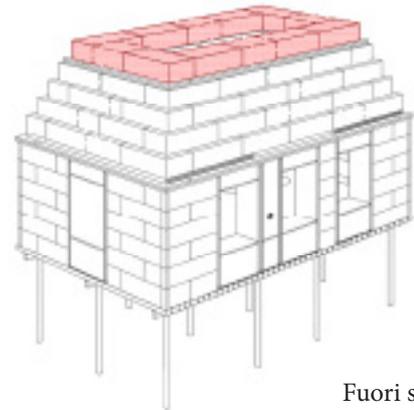
Corso di balle di paglie  
Studio Werner Schmidt

#### PAGLIA - BALLE JUMBO E SOTTOMULTIPLI

$$1) 8x \quad 2,5 \text{ m} \times 1,25 \text{ m} \times 0,7 \text{ m} = 17,5 \text{ m}^3$$

$$2) 4x \quad 1,9 \text{ m} \times 1,25 \text{ m} \times 0,7 \text{ m} = 6,65 \text{ m}^3$$

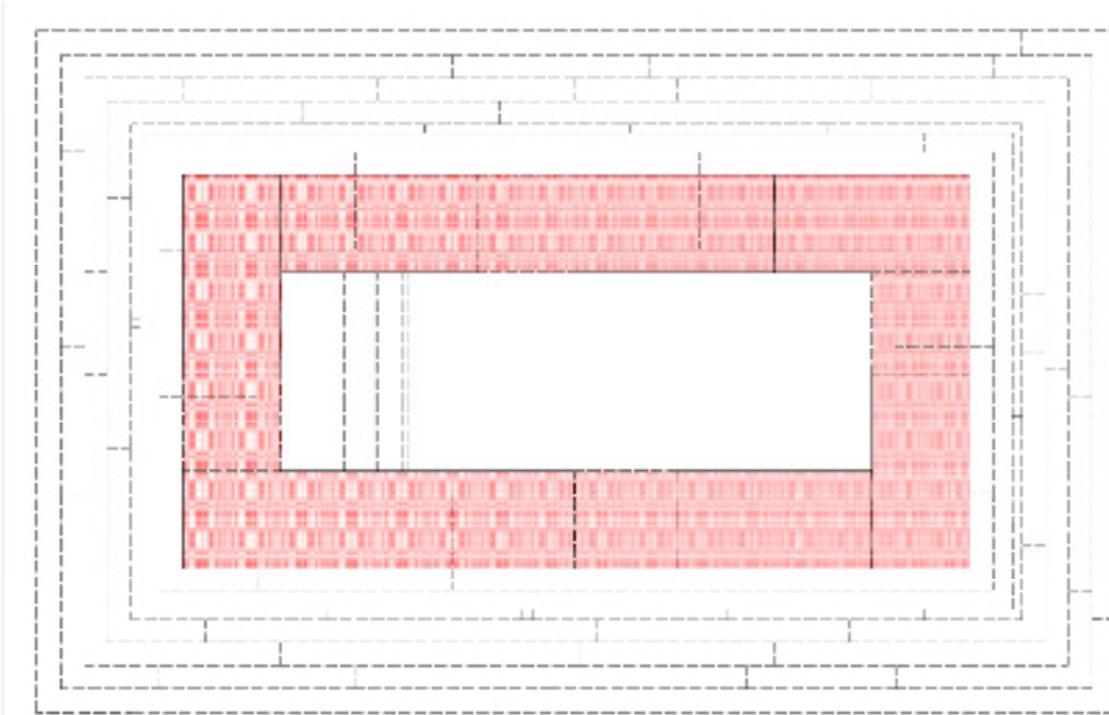
$$\text{TOT} = 24,15 \text{ m}^3 \times 150 \text{ kg/m}^3 = 3622 \text{ kg}$$



Fuori scala



Vista interna primo piano  
Foto di Joel Kunz



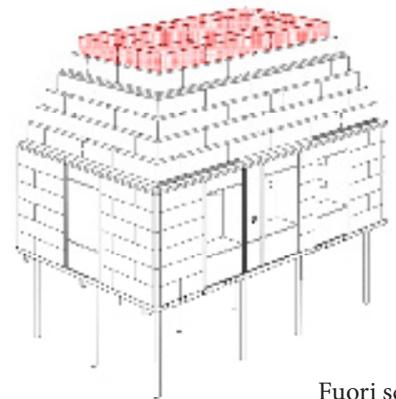
SCALA 1:100

Corso di balle di paglie  
Studio Werner Schmidt

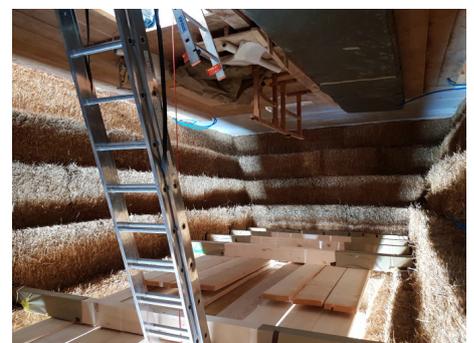
### PAGLIA - BALLE JUMBO E SOTTOMULTIPLI

- 1) 8x 2,5 m x 1,25 m x 0,7 m = 17,5 m<sup>3</sup>
- 2) 4x 1,3 m x 1,25 m x 0,7 m = 4,55 m<sup>3</sup>

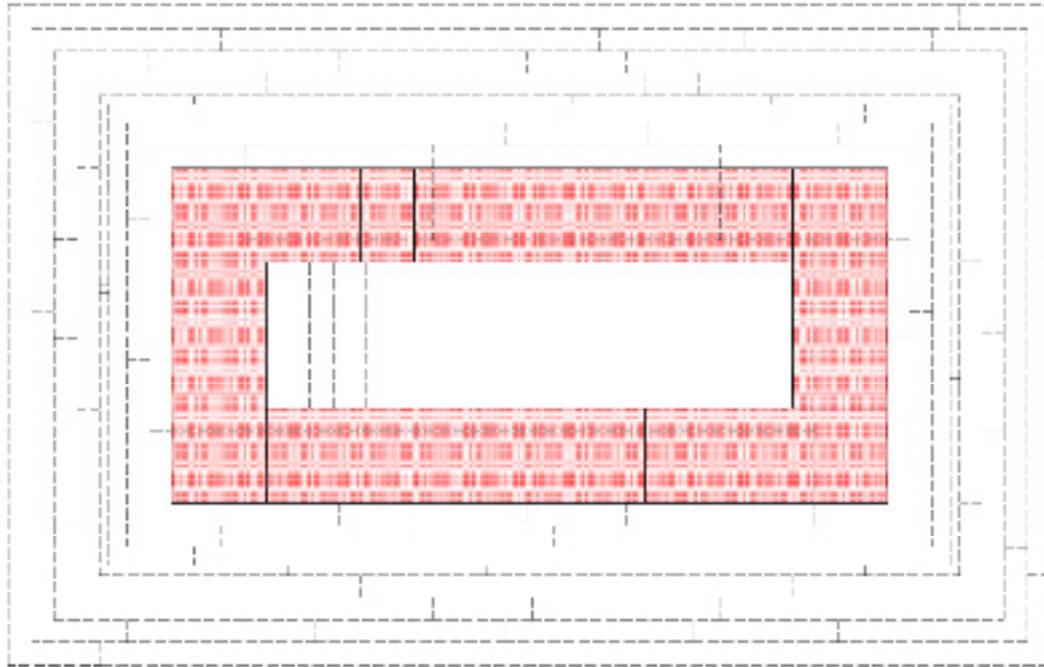
TOT = 22,05 m<sup>3</sup> x 150 kg/m<sup>3</sup> = 3307 kg



Fuori scala



Volume interno copertura  
Foto di Joel Kunz



SCALA 1:100

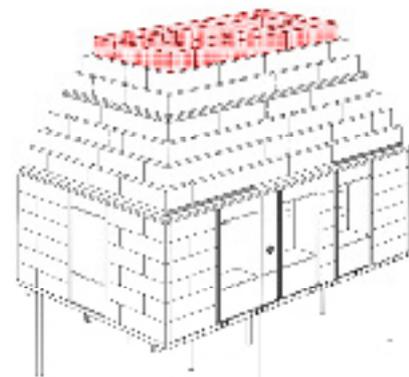
Corso di balle di paglie  
Studio Werner Schmidt

PAGLIA - BALLE JUMBO E SOTTOMULTIPLI

1) 8x 2,5 m x 1,25 m x 0,7 m = 17,5 m<sup>3</sup>

2) 4x 0,7 m x 1,25 m x 0,7 m = 2,45 m<sup>3</sup>

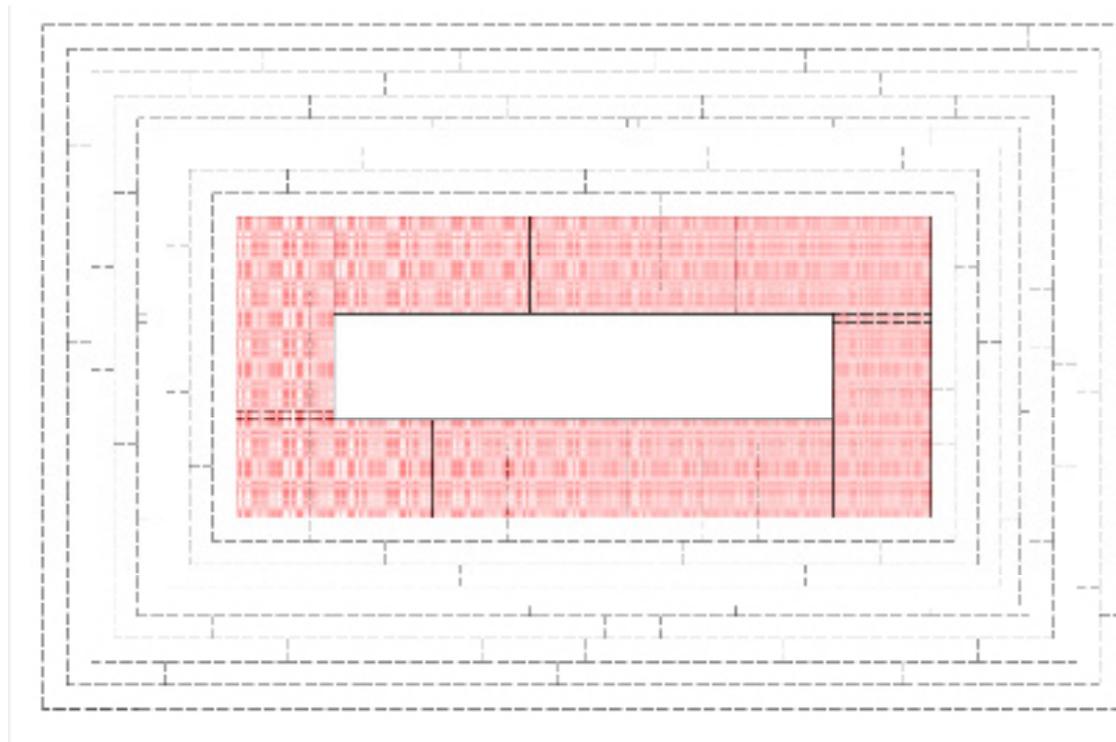
TOT = 19,95 m<sup>3</sup> x 150 kg/m<sup>3</sup> = 2992 kg



Fuori scala



Volume interno copertura  
<https://gartist.ch/>



SCALA 1:100

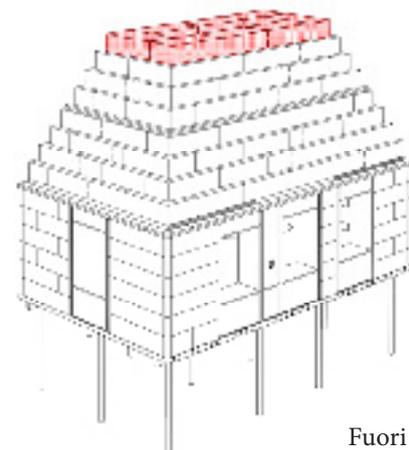
Ultimo corso di balle di paglie

Studio Werner Schmidt

PAGLIA - BALLE JUMBO

$$1) 8x \quad 2,5 \text{ m} \times 1,25 \text{ m} \times 0,7 \text{ m} = 17,5 \text{ m}^3$$

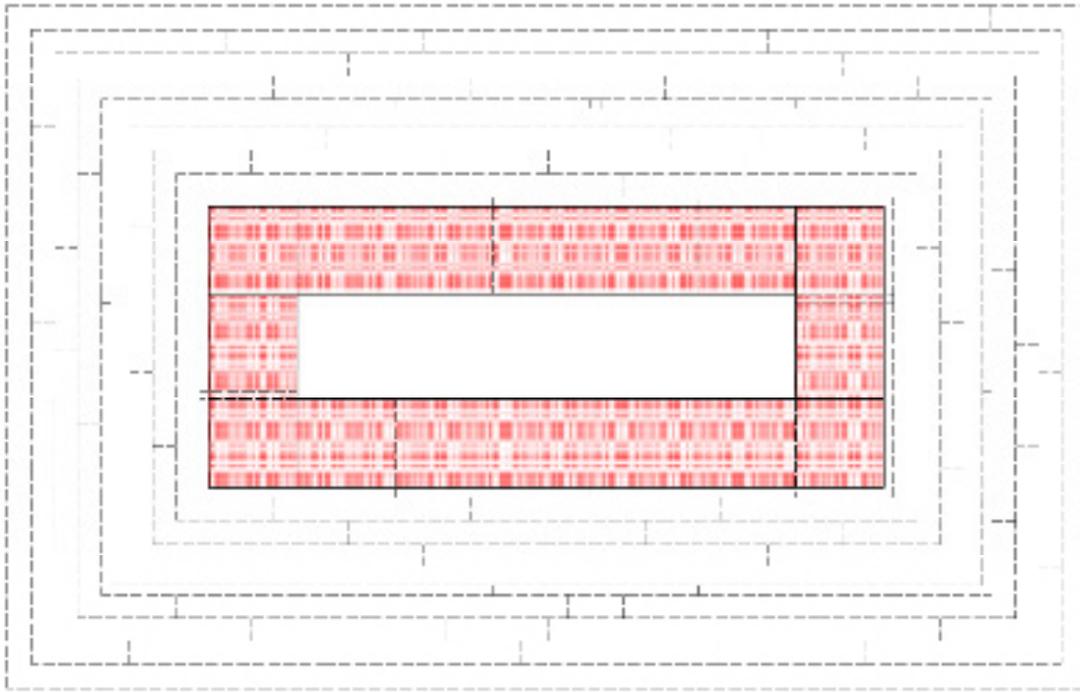
$$\text{TOT} = 17,5 \text{ m}^3 \times 150 \text{ kg/m}^3 = 2625 \text{ kg}$$



Fuori scala



Vista est cantiere  
Foto di Joel Kunz



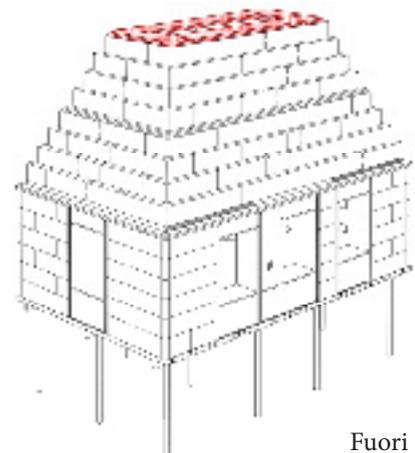
SCALA 1:100

Terzo e ultimo livello pannelli di legno  
Studio Werner Schmidt

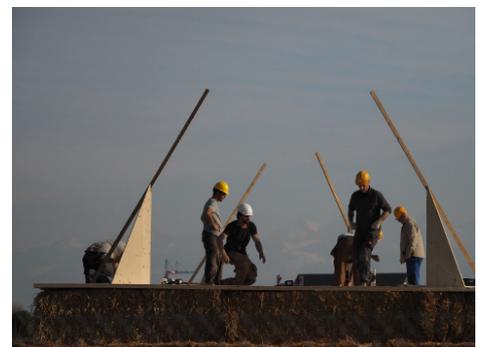
PANNELLI DI LEGNO

- 1) 4x 2,610 m x 1,25 m x 0,027 m = 0,352 m<sup>3</sup>
- 2) 4x 7,610 m x 1,25 m x 0,027 m = 1,027 m<sup>3</sup>

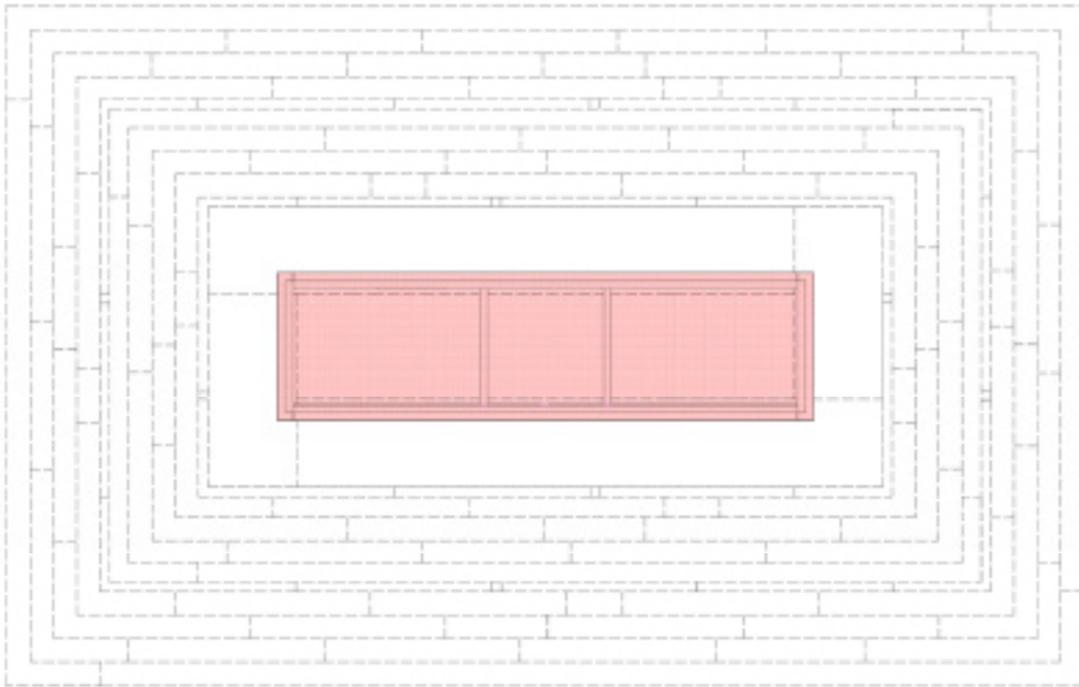
TOT = 1,379 m<sup>3</sup> x 450 kg/m<sup>3</sup> = 620,55 kg



Fuori scala



Vista aerea struttura della copertura  
Foto di Joel Kunz



Lucernario  
Studio Werner Schmidt

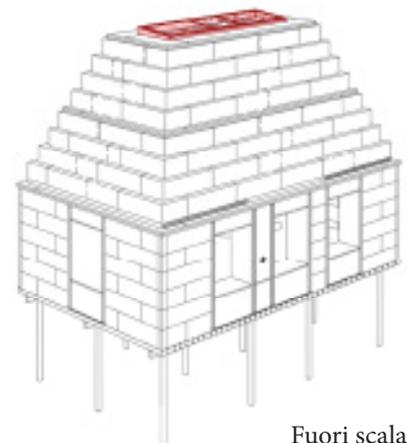
Il lucernario ha la funzione sia di illuminare che di consentire il ricambio d'aria. Inoltre consente l'accesso alla terrazza. Il mezzanino oggi funge da camera da letto per i proprietari. L'inconveniente di questo mezzanino è che mantiene in ombra metà del primo piano, dove si trova l'ufficio dell'azienda.

### CALCOLI DEGLI ELEMENTI DEL LUCERNATIO VETRO

- 1)2x 2,18 m x 1,54 m x 14 mm x 2,5 = 235 kg
- 2)1x 1,57 m x 1,54 m x 14 mm x 2,5 = 84,62 kg
- TOT = 319,62 kg

### TELAIO IN LEGNO

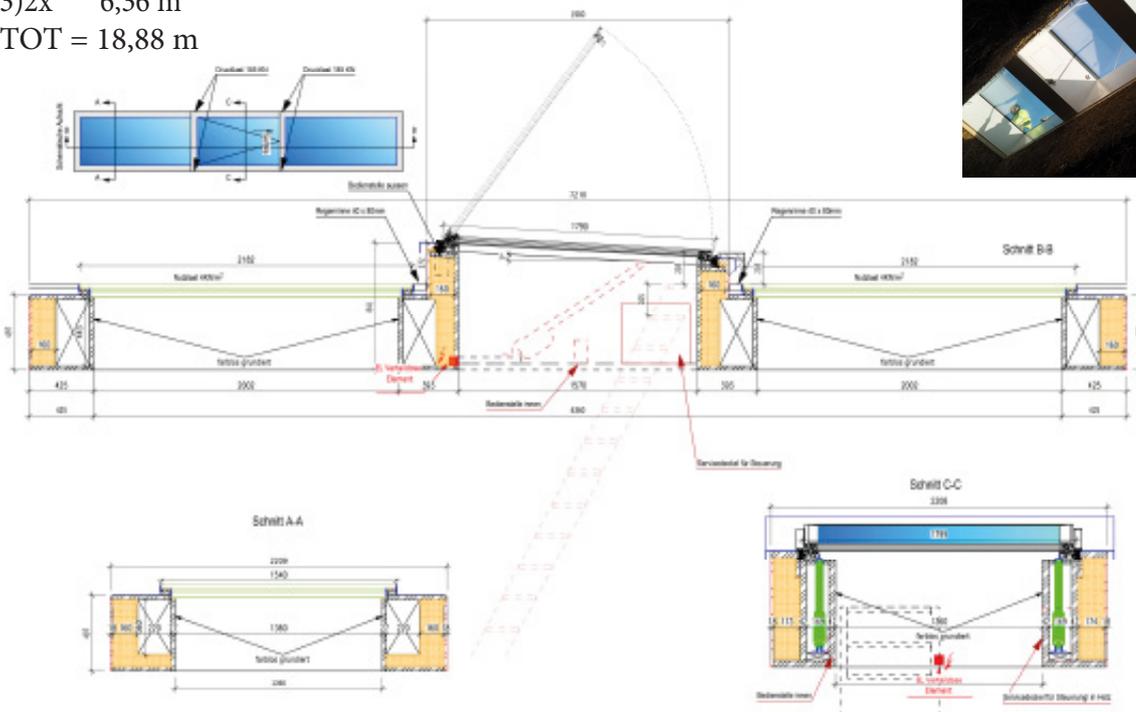
- 1)4x 1,54 m
- 3)2x 6,36 m
- TOT = 18,88 m



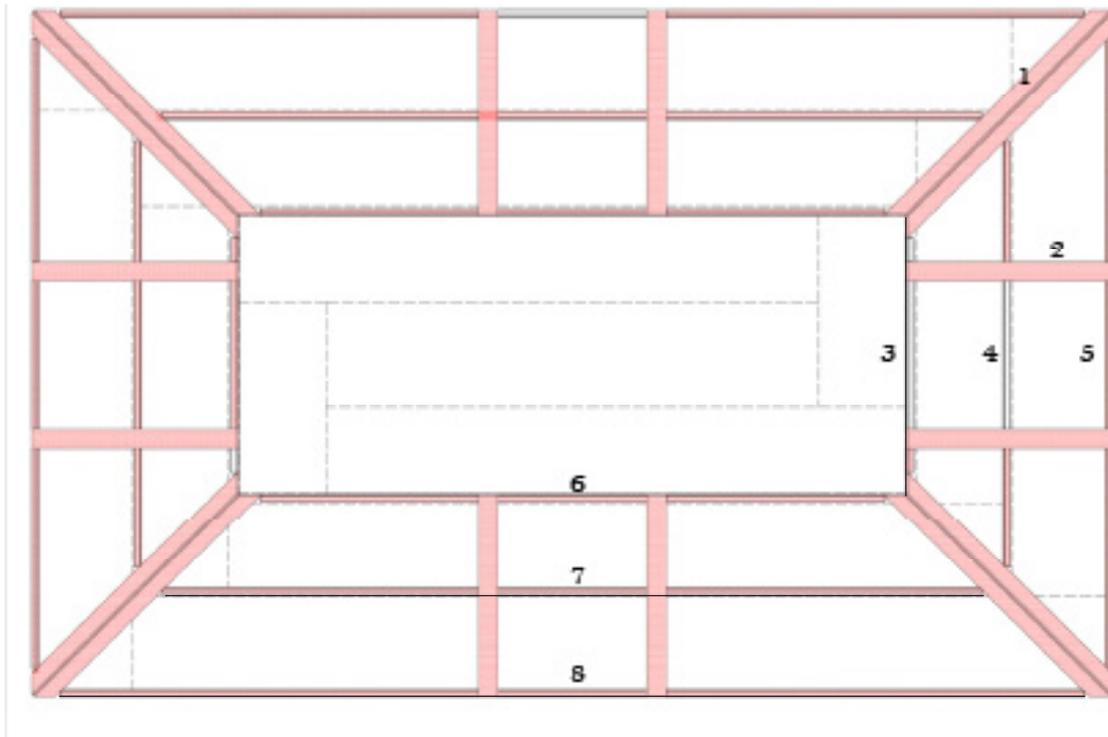
Fuori scala



Posa del lucernario  
Foto di Joel Kunz



SCALA 1:50  
Pianta, prospetto e sezione lucernario  
Studio Werner Schmidt



SCALA 1:100

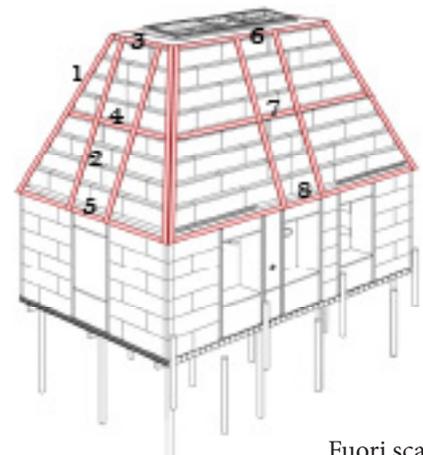
Telaio struttura copertura

Studio Werner Schmid

Tra la lamiera grecata e la paglia Werner Schmid ha lasciato un'intercapedine di circa 30 cm che funge da isolante e regola il passaggio di umidità.

La struttura in paglia viene completata in soli cinque giorni e si può vedere l'intero processo sul sito internet dell'Atelier Werner Schmid. Dopodiché viene lasciata risposare perché si assesti e raggiunga la sua posizione finale.

link video: <https://www.atelierwernerschmidt.ch/gartist-bubikon>



Fuori scala

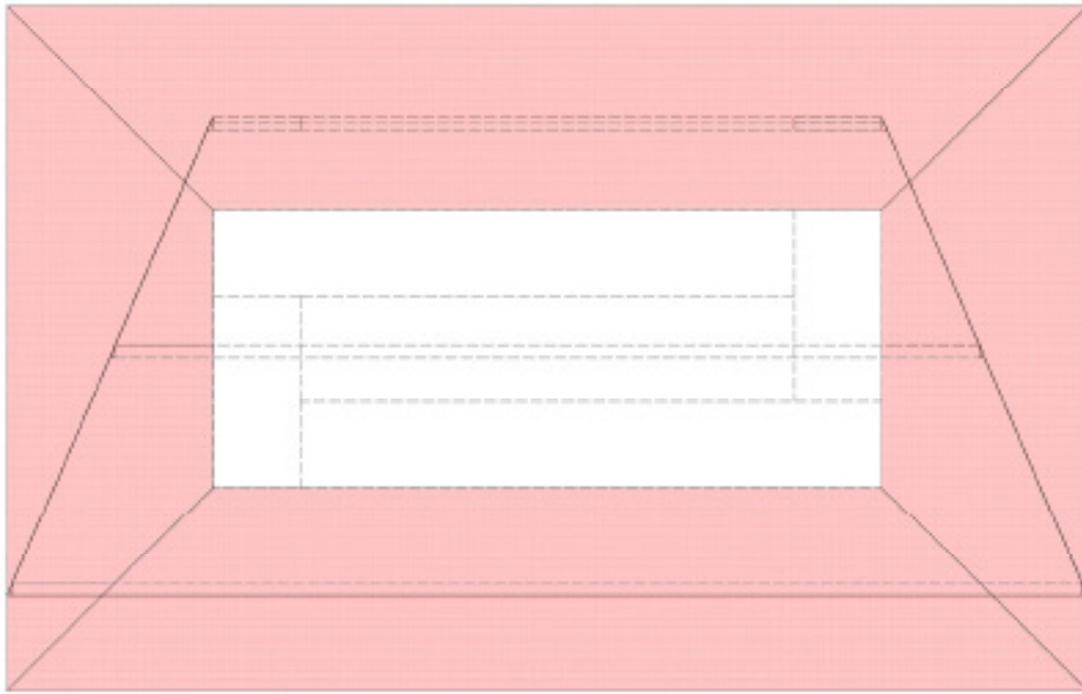
#### CALCOLO DELLA STRUTTURA METALLICA

- 1)8x 7,2 m x 0,1 m = 5,75 m<sup>2</sup>
- 2)8x 6,6 m x 0,1 m = 5,28 m<sup>2</sup>
- 3)2x 3,7 m x 0,1 m = 0,74 m<sup>2</sup>
- 4)2x 5,7 m x 0,1 m = 1,14 m<sup>2</sup>
- 5)2x 8,4 m x 0,1 m = 1,68 m<sup>2</sup>
- 6)2x 8,2 m x 0,1 m = 1,64 m<sup>2</sup>
- 7)2x 10,7 m x 0,1 m = 2,14 m<sup>2</sup>
- 8)2x 13,5 m x 0,1 m = 2,7 m<sup>2</sup>

TOT = 21,07 m<sup>2</sup> x 39,25 kg/m<sup>2</sup> m = 827 kg



Struttura copertura  
Foto di Joel Kunz



SCALA 1:100

Freno vapore

Studio Werner Schmidt

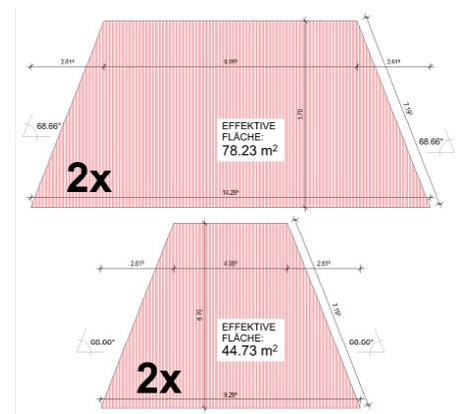
### FRENO VAPORE

Lo strato di feltro che Schmidt inserisce sotto la copertura regola l'umidità e funge da freno vapore.

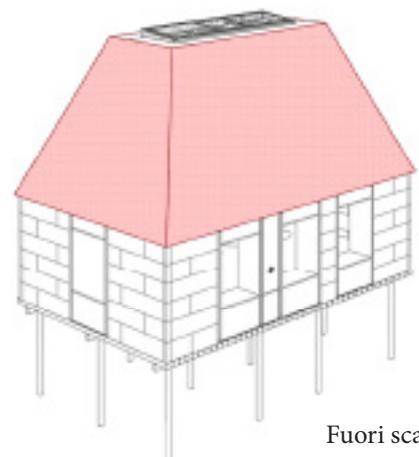
$$s = 4\text{mm} \Rightarrow 1,12 \text{ kg/m}^2$$

$$(78,23 \text{ m}^2 + 44,73 \text{ m}^2) \times 2 = 245,92 \text{ m}^2$$

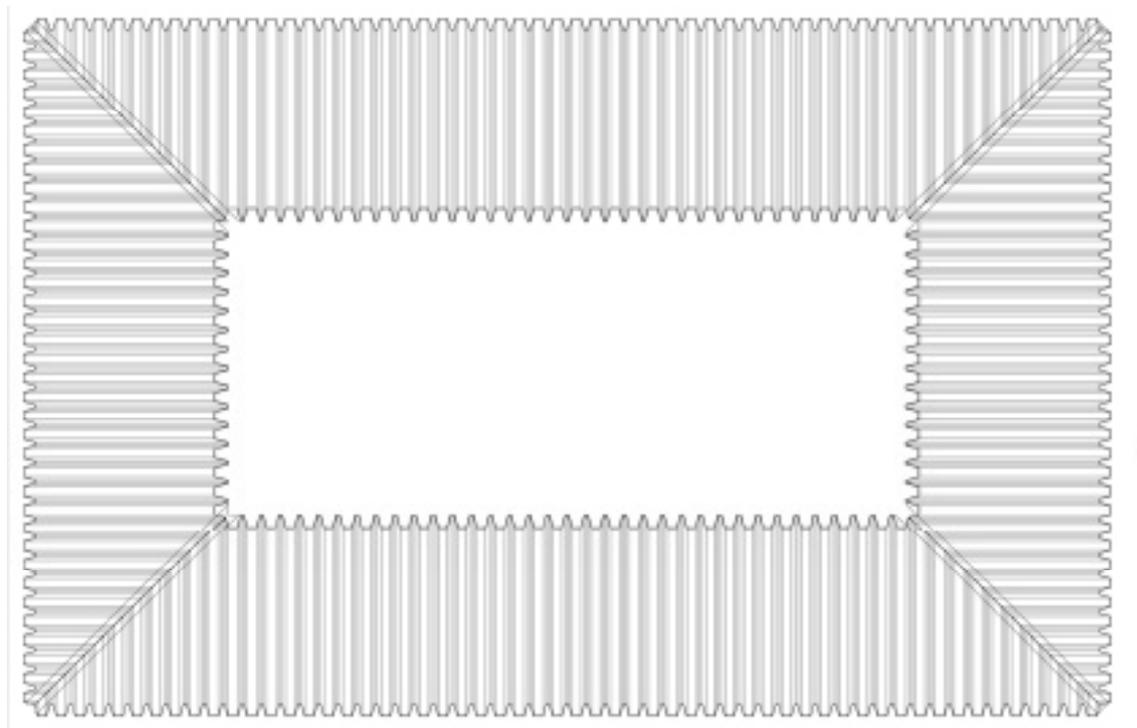
$$1,12 \text{ kg/m}^2 \times 245,92 \text{ m}^2 = 275,43 \text{ kg}$$



Fuori scala



Fuori scala



SCALA 1:100

Lamiera gracata in copertura  
Studio Werner Schmidt

LAMIERA GRECATA

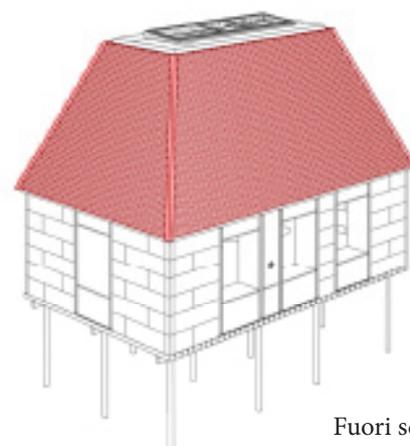
spessore 0,3 mm => 7,85 kg/m<sup>2</sup>

$$(78,23 \text{ m}^2 + 44,73 \text{ m}^2) \times 2 = 245,92 \text{ m}^2$$

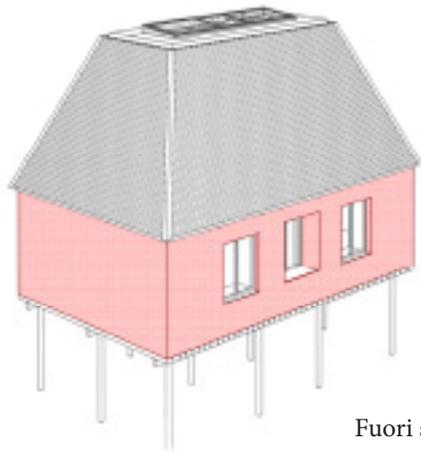
$$\text{TOT} = 245,92 \text{ m}^2 \times 7,85 \text{ kg/m}^2 = 1930,47 \text{ kg}$$



Copertura in lamiera gracata  
Foto di Joel Kunz

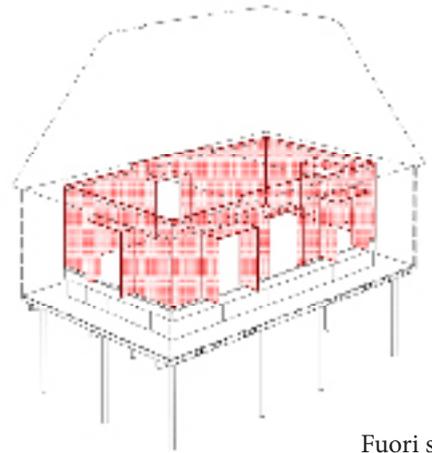


Fuori scala



Fuori scala

Intonaco esterno e interno  
Studio Werner Schmidt



Fuori scala

### INTONACO ESTERNO

Un intonaco a base di calce viene applicato sulle superfici esterne formando uno strato di spessore circa 1,5 cm, per ottenere resistenza al fuoco, agenti atmosferici e insetti. La prima mano viene applicata con una pistola a spruzzo perché penetri bene tra gli steli di paglia, mentre quelle successive a mano.

$$(8,75\text{m} \times 4,2\text{m} \times 2) + (13,65 \text{ m} \times 4,2\text{m} \times 2) - (1,96 \text{ m} \times 2,45\text{m} \times 4) + [0,8\text{m} \times 1,96\text{m} + (0,8\text{m} \times 2,45\text{m} \times 2)] - (0,2\text{m} \times 1,96\text{m} + 0,2\text{m} \times 2,45\text{m} \times 2) \times 3 = 175,86 \text{ m}^2$$

$$\text{resa: } 0,9 \text{ kg/mm/m}^2 \Rightarrow 1,35 \text{ kg/m}^2 \times 175,86 \text{ m}^2 = 237,41 \text{ kg}$$

### INTONACO INTERNO

Per l'interno invece vengono eseguiti tre strati di intonaco a base di argilla per le sue qualità traspiranti. Si ottiene così un ambiente sano, piacevole e privo di particelle volatili che possono causare allergie.

$$(8,75\text{m} \times 4,2\text{m} \times 2) + (13,65 \text{ m} \times 4,2\text{m} \times 2) - (1,96 \text{ m} \times 2,45\text{m} \times 6) + [(0,8\text{m} \times 1,96\text{m} + 0,8\text{m} \times 2,45\text{m} \times 2) \times 3] + [(0,4\text{m} \times 1,96\text{m} + 0,4\text{m} \times 2,45\text{m} \times 2) \times 2] + (0,2\text{m} \times 1,96\text{m} + 0,2\text{m} \times 2,45\text{m} \times 2) = 215,6 \text{ m}^2$$

$$\text{resa: } 1,7 \text{ kg/mm/m}^2 \Rightarrow 5,1 \text{ kg/m}^2 \times 215,6 \text{ m}^2 = 1099,56 \text{ kg}$$



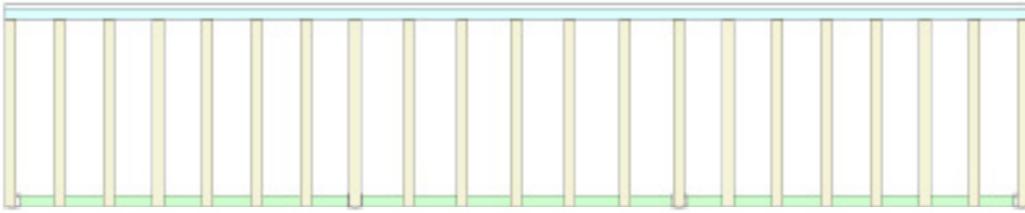
Dettaglio intonaco interno  
Foto di Joel Kunz



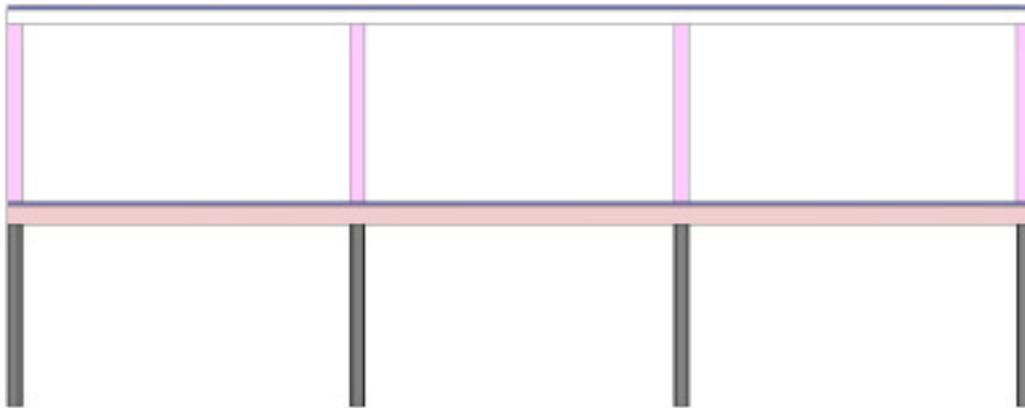
Debora Kunz applica l'intonaco esterno  
<https://gartist.ch/>



Vista est struttura  
Foto di Joel Kunz



Copertura porticato  
Foto di Mathieu Rossi



Struttura porticato  
Studio Werner Schmidt

## PORTICO

Il portico viene aggiunto per ultimo. Tranne i lastrici in cemento la struttura è interamente il legno, creando un legame forte con il giardino che lo circonda.

Suddiviso nei suoi componenti ricaviamo:

**PILASTRI** (fonte <http://www.farinaezio.it>)

Ø20 cm

$$\pi \times 0,1^2 \text{ m} \times 2,5 \text{ m} = 0,08 \text{ m}^3 \times 8 \text{ (n}^\circ \text{ pilastri)} = 0,64 \text{ m}^3$$

$$\Rightarrow 0,64 \text{ m}^3 \times 450 \text{ kg/m}^3 = 288 \text{ kg}$$

## ELEMENTI LIGNEI

$$0,2 \text{ m} \times 0,2 \text{ m} \times 2,4 \text{ m} = 0,096 \text{ m}^3 \times 4 = 0,38 \text{ m}^3$$

$$0,2 \times 0,4 \text{ m} \times 13,65 \text{ m} = 1,09 \text{ m}^3$$

$$0,2 \text{ m} \times 0,15 \text{ m} \times 13,65 \text{ m} = 0,41 \text{ m}^3$$

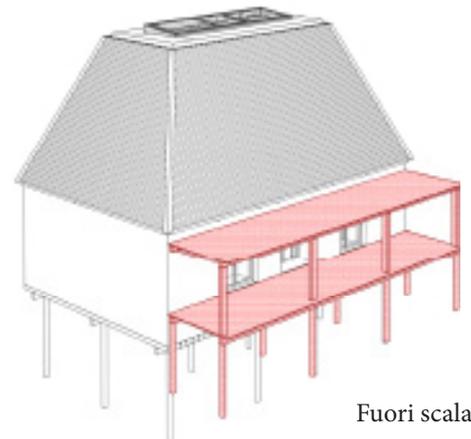
$$0,2 \text{ m} \times 0,15 \text{ m} \times 2,55 \text{ m} \times \text{n}^\circ 21 = 1,61 \text{ m}^3$$

$$0,2 \text{ m} \times 0,25 \text{ m} \times 13,65 \text{ m} = 0,68 \text{ m}^3$$

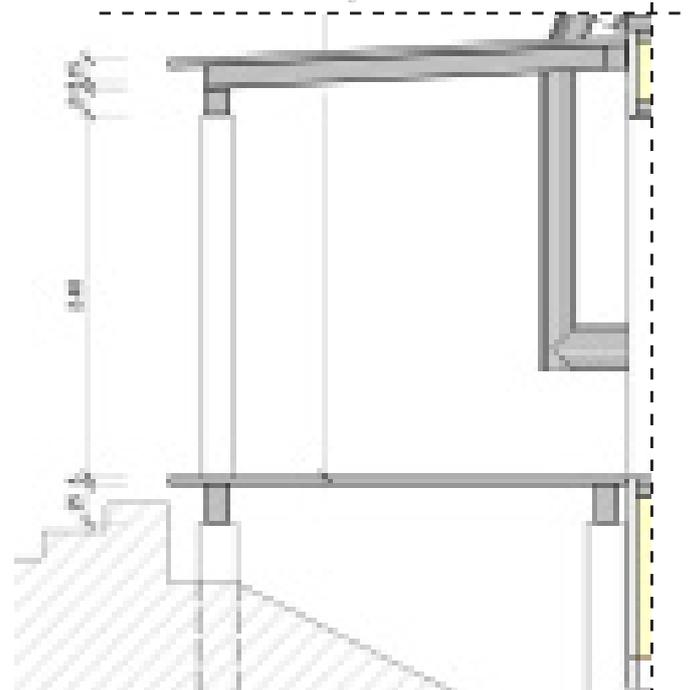
$$13,65 \text{ m} \times 3 \text{ m} \times 0,05 \text{ m} \times 2 = 4,1 \text{ m}^3$$

$$\text{TOT} = 8,27 \text{ m}^3$$

$$\Rightarrow 8,27 \text{ m}^3 \times 450 \text{ kg/m}^3 = 3722 \text{ kg}$$



Fuori scala



Dettaglio porticato  
Studio Werner Schmidt

## STUFA

Posta a sinistra della porta di ingresso, la stufa è inserita nell'apparato murario mentre la canna fumaria in acciaio rimane esterna per evitare possibili degradi in caso di malfunzionamento. La stufa e le strisce radianti a pavimento sono le uniche fonti di riscaldamento. Secondo i proprietari, durante l'inverno 2017/18 sono stati necessari all'incirca 800 kg di legna.  
1 kg di legna = 3,624 kWh

## CANNA FUMARIA ACCIAIO

Ø300 mm

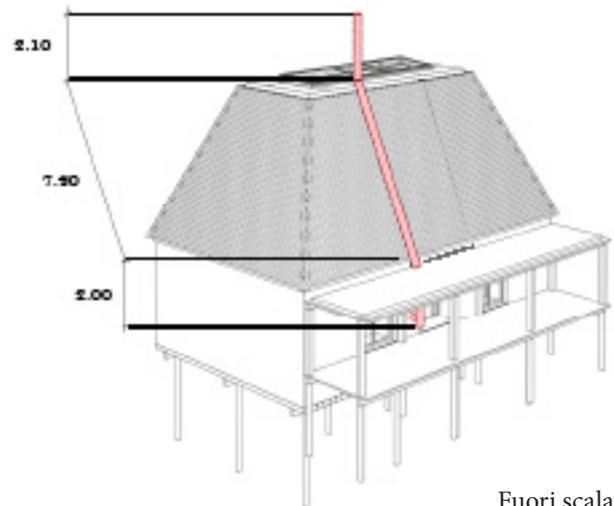
L ~ 11,5 m

spessore: 0,01 m

volume filo esterno:  $\pi \times 0,16^2 \times 11,5 = 0,924$

volume filo interno:  $\pi \times 0,15^2 \times 11,5 = 0,812$

TOT = 0,112 m<sup>3</sup>



Fuori scala



Vista su-ovest della struttura  
Foto di Mathieu Rossi

## PORTE FINESTRE

Le finestre sono a doppio vetro con telaio a taglio termico. Sono state posizionate strategicamente a sud ed a est per fornire maggior apporto solare.

dimensioni finestra: 180 cm x 240 cm: 4,32 m<sup>2</sup>

## VETRO

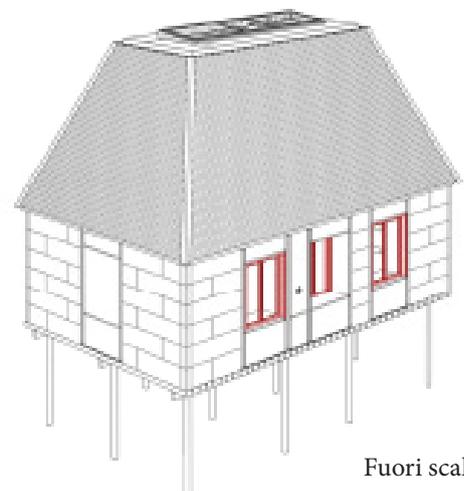
l = 0,77 cm, h = 2,24 m

=> 1,72 m<sup>2</sup> x 8 mm x 2,5 x n°8 = 275.2 kg

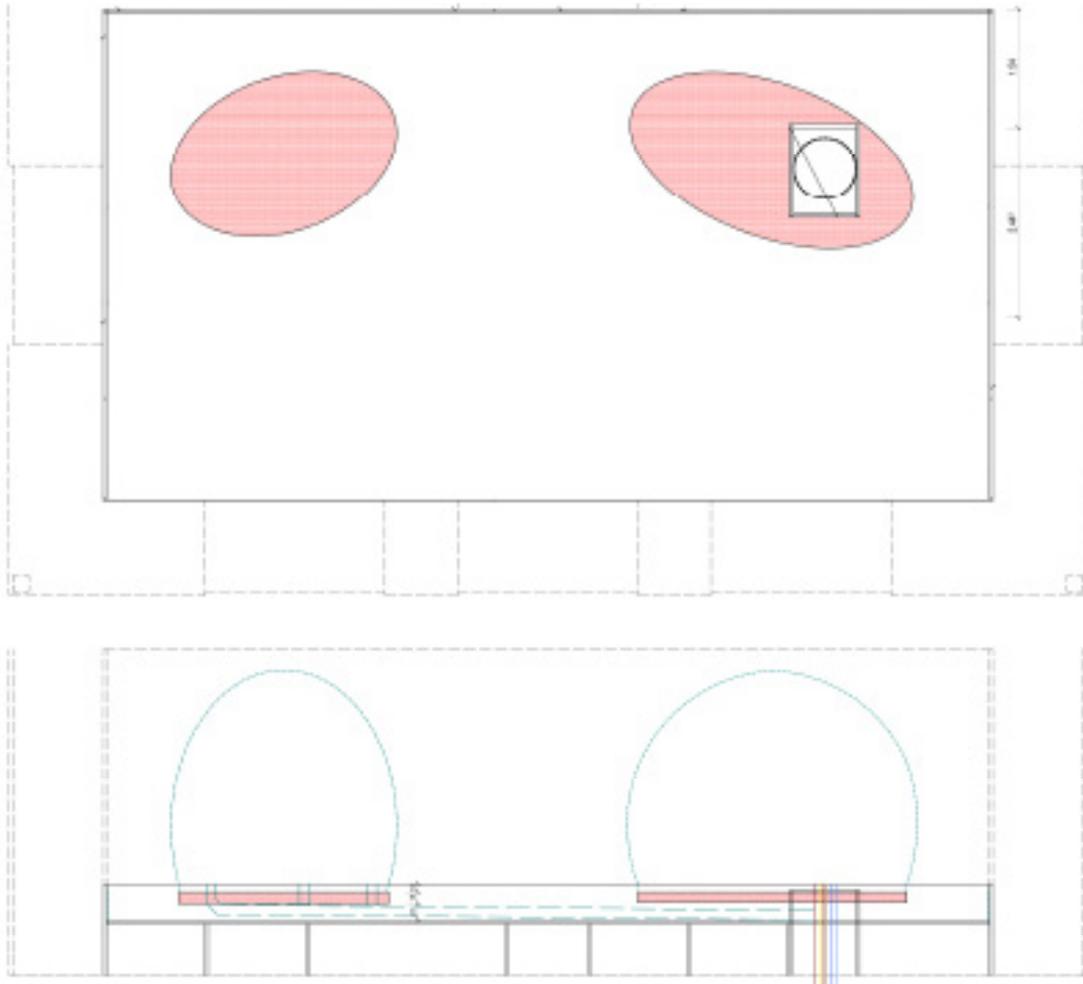
## TELAIO

lunghezza telaio al metro lineare

8,4 m x 5 n° finestre = 42 m



Fuori scala



SCALA 1:100

Basamento di appoggio

### BASE MODULI

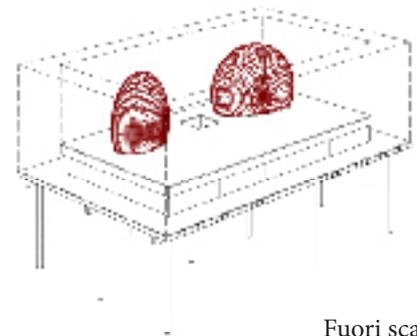
Vengono chiamate “uova di drago” in modo scherzoso dallo stesso Werner Schmidt. Sono due moduli che ospitano rispettivamente la cucina con ripostiglio nella parte posteriore nella prima foto, mentre ci sono i servizi igienici nel secondo. Sono stati fatti, creando la base in cemento, una struttura metallica per creare il volume del modulo ed inseguito con una pompa a pressione riversata una malta cementizia per creare l’involucro del modulo.

### BASAMENTO

Aree calcolate usando AutoCad

cucina/ripostiglio =  $6,41 \text{ m}^2 \times 0,15 \text{ m} \times 2500 \text{ kg/m}^3 = 2403 \text{ kg}$

servizi igienici =  $4,76 \text{ m}^2 \times 0,15 \text{ m} \times 2500 \text{ kg/m}^3 = 1785 \text{ kg}$

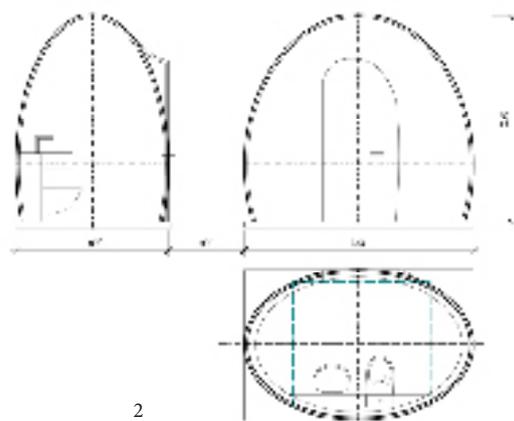
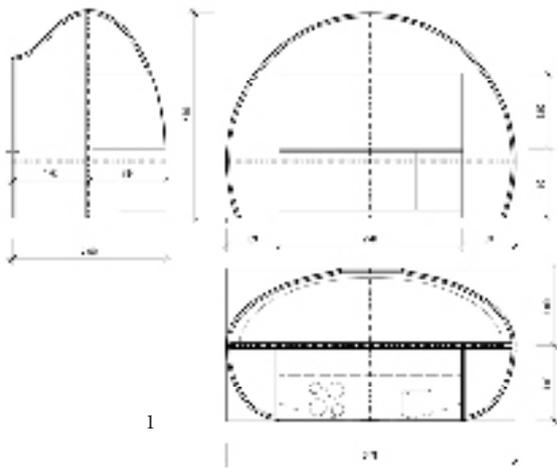


Fuori scala



Basi in cemento dei moduli

Foto di Joel Kunz



SCALA 1:100

Pianta, prospetto e sezione moduli  
Studio Werner Schmidt

### “UOVA DI DRAGO”

Per creare questi moduli, viene fatto un telaio di supporto alla malta cementizia. Una stratificazione di lastre metalliche forate per l'irrigidimento, e griglie con trama più fine che creano l'attrito che mantenga la miscela ancorata alla struttura.

### TELAIO ACCIAIO ZINCATO

Ipotizzando che ricopra circa il 10% della superficie si ottiene:  $3,06 \text{ m}^2 \times 3,034 \text{ kg/m}^2 = 9,28 \text{ kg}$

### MALTA CEMENTIZIA

Utilizzando Rhinoceros ho ricreato i volumi:

area superficie 1 =  $11,2 \text{ m}^2$

area superficie 2 =  $19,4 \text{ m}^2$

$30,6 \text{ m}^2 \times \text{spessore } 0,05 \text{ m} = 1,53 \text{ m}^3$

TOT =  $1,53 \text{ m}^3 \times 1850 \text{ kg/m}^3 = 2831 \text{ kg}$

### PANNELLI DI LEGNO

$1 \text{ m} \times 1,90 \text{ m} = 1,90 \text{ m}^2 \times 2 \text{ n}^\circ \text{ pannelli} = 3,80 \text{ m}^2$

$2,4 \text{ m} \times 1,9 \text{ m} = 4,56 \text{ m}^2$

$8,36 \text{ m}^2 \times 0,08 \text{ m} = 0,67 \text{ m}^3 \times 450 \text{ kg/m}^3 = 301,5 \text{ kg}$



Telaio metallico  
Foto di Joel Kunz



Colata di malta per creare l'involucro  
<https://gartist.ch/>



Modulo cucina  
Foto di Joel Kunz

Questo progetto è stato pensato come sede di un'azienda e la disposizione degli spazi all'interni si presta perfettamente a questa funzione, avendo uno spazio aperto al piano terra e gli uffici al primo piano. Ma può essere rivisitato e adattato ad altre funzioni come quella di residenza. La forma dettata dal principio costruttivo di impilare le palle di paglia ha comunque alcuni difetti come quello di creare un volume con la copertura molto al mio sul quale bisognerebbe riflettere per evitare sprechi. Creando vari livelli si può sfruttare quest'altezza dovuta al tetto ma l'illuminazione rimarrà limitata alle aperture del pian terreno e al lucernario.

L'utilizzo delle balle jumbo non consentono un processo di autocostruzione e completa autonomia che Werner Schmidt ricerca, d'altro canto permette di costruire strutture più grandi capaci di sostenere carichi nettamente maggiori rispetto all'utilizzo delle classiche balle di paglia 50cm x 80 cm x 70 cm.



Vista sud-ovest della struttura  
Foto di Mathieu Rossi

CAP 2.



Gernot Minke, 21 agosto 2010 sul cantiere di Createrra

## 2.1 GERNOT MINKE

Gernot Minke nasce nel 1937 a Rostock in Germania, svolge le scuole medie e superiori a nella capitale teutonica, tra il 1957 e il 1964 conclude i suoi studi di architettura e poi a Hannover laureandosi a pieni voti. Agli inizi della sua carriera lavora in diversi studi di architettura, nei quali impara molto sulle tecniche ecocompatibili che applicherà come progettista. Tra il 1964 e 1969 è assistente ricercatore a Frei Otto presso l' Institut für Leichte Flächentragwerke dell'università di Stoccarda; durante quel periodo svolge il suo dottorato sull'analisi dell'efficienza delle strutture. Diviene consulente architetto strutturista per strutture leggere, occupandosi di strutture pneumatiche, strutture a membrana per attività sportive, coperture stradali etc. Nel 1971 assume il ruolo di Direttore dell'Institut für Umweltplanung (Istituto di Pianificazione Territoriale) di Ulm.

Dal 1974 al 2011 è professore all'università di Kassel, dove fonda e dirige il dipartimento di Architettura, Forschungslabors für Experimentelles Bauen (Laboratori di ricerca per l'edilizia sperimentale). Un atelier in cui sperimentare pratiche costruttive usando materiali industriali di recupero, le balle di paglia, argilla, terra, pomice e bambù e il loro impiego nell'architettura moderna con l'obiettivo di trovare alternative sostenibili, sane e performanti. Nel 1979 apre il suo studio privato di architettura ecologica e sostenibile a Kassel.

A oggi ha partecipato a più di 60 conferenze internazionali e tenuto conferenze e workshop in tutti i continenti. Ha pubblicato più di 300 articoli scientifici ed è autore di numerosi libri. I più conosciuti sono: *“Costruzioni in terra”*, che è stato pubblicato in 11 lingue, *“Costruzioni in paglia”* e *“Costruzioni in bambù”*.

## 2.2 BJØRN KIERULF

Il 1 ottobre 2018 ho preso l'aereo a Milano e sono atterrato a Bratislava. Il giorno seguente mi sono recato Hrubý Šúr, un piccolo villaggio a una trentina di chilometri da Bratislava, nel distretto di Senec. Qui si trova la società Createrra, diretta dall'architetto Bjørn Kierulf che ha lavorato e costruito lui stesso l'ufficio.

Kierulf è un designer industriale norvegese. È venuto in Slovacchia per imparare la lingua per un anno e raggiungere la sua compagna, ed ha deciso di insediarsi definitivamente. Vive in Slovacchia dal 1989 con la moglie Zuzana Kierulfová, architetto e collaboratore. Insieme hanno aperto la società Createrra con l'obiettivo di progettare e diffondere il concetto delle case passive.

Kierulf ha vinto svariati riconoscimenti nazionali per i suoi progetti negli anni 1993-2001 e insieme alla moglie ha influenzato l'evoluzione delle case passive in Slovacchia dal 2007, anno in cui hanno costruito la prima casa passiva certificata. Da allora la società ha progettato e costruito oltre 70 case passive.

Kierulf tuttora è un sostenitore del movimento internazionale delle case passive; ha partecipato a 4 presentazioni alla International passive house conference ed è attualmente moderatore del Forum casa passiva.



Bjørn Kierulf  
<http://www.createrra.sk>

Arrivato a Hrubý Šúr con una corriera, non si può non notare l'ufficio; molto peculiare ed accattivante dal primo istante, sembra quasi che si nasconda tra il tetto verde e una vegetazione lasciata allo stato brado tutt'intorno. L'appuntamento era le nove e dopo aver citofonato il sig. Kierulf in persona mi ha accolto. Prima però di farmi accomodare mi ha chiesto di togliere le scarpe, e ho notato che il pavimento non era freddo nonostante la struttura sia poggiata a terra e (non su pilotis come il Gartist) e fossi in calzini. Mi ha fatto sedere al tavolo centrale delle riunioni. Nelle nicchie perimetrali ci sono un angolo relax con un divanetto, in un'altra un ripiano con un lavandino e il necessario per il caffè e nelle cinque nicchie restanti delle scrivanie con computer per lui e i suoi collaboratori.

Nonostante Bjørn Kierulf non parli italiano come Werner Schmidt, con l'inglese siamo riusciti a parlare di com'è nata Createrra, e delle fasi che hanno portato alla realizzazione di quello che inizialmente era noto come un workshop ed è poi stato usato come la sede dello studio. Mi ha mostrato un elemento prefabbricato giusto dietro di me, un pannello con il telaio di legno e paglia pressata al suo interno; principio costruttivo della azienda Ecocon, specializzata negli elementi prefabbricati ecocompatibili, con cui lavora a stretto contatto Kierulf.

Come dice José Ortega y Gasset "Io sono me più il mio ambiente e se non preservo quest'ultimo non preservo me stesso."

I materiali naturali hanno ancora un ruolo secondario nel settore delle costruzioni; secondo Bjørn Kierulf, per dare una spinta nella direzione giusta, alla costruzione moderna è necessaria l'adozione della prefabbricazione (come i pannelli in legno di paglia), la comprensione della fisica dell'edificio (ermeticità e ventilazione naturale) e l'uso della biomassa (come isolante e per produrre energia).

Negli ultimi anni vari sistemi di elementi prefabbricati si sono sviluppati in Europa, uno dei quali appunto in Lituania di nome EcoCocon, riscuotendo riscontri positivi in quanto l'energia grigia (nonostante il trasporto via camion) resta bassa. Questi elementi prefabbricati per le loro prestazioni, il costo e l'adozione da parte dei costruttori nei moderni sistemi costruttivi, hanno il potenziale di cambiare il modo in cui i materiali naturali vengono usati nell'edificio. L'ufficio Createrra è solo in parte ottenuto con elementi prefabbricati.



Bjørn Kierulf  
<https://hnporadna.hnonline.sk>



Prefabbricato dell'azienda Ecocon  
Foto di Mathieu Rossi



Ufficio Createrra 2 ottobre 2018  
Foto di Mathieu Rossi

## 2.3 PROGETTO UFFICIO CREATERRA

Come nasce questo progetto?

“ArTUR - Architecture for Sustainable Development” è un’organizzazione non governativa presente in 60 paesi fondata nel 2001, che ha raduna professionisti di questo mestiere: architetti, artigiani, produttori e figure coinvolte nel settore delle costruzioni interessate a un’architettura sostenibile. L’organizzazione promuove la costruzione con materiali naturali come balle di paglia e argilla attraverso varie iniziative come servizio informativo, presenza alle fiere, organizzando conferenze, seminari e workshop.

Tramite il progetto Leonardo da Vinci “European Learning Partnership for Strawbale Building” finanziato dalla Commissione Europea, ArTUR mira a definire le migliori pratiche di costruzione di edifici in paglia. Per questo progetto di costruzione ecologica con materiali naturali è stato scelto un edificio sperimentale – una cupola in balle di paglia con 8 volte attorno ad essa.

L’autore è stato Gernot Minke, il finanziatore è stato lo studio d’architettura Createrra mentre l’ONG ArTUR si è occupata di organizzare i laboratori didattici. Questo edificio è molto particolare e probabilmente il solo del suo genere, in quanto le balle di paglia sono state tagliate da ambo i lati per ottenere i conci di una costruzione a cupola, per di più capace di sopportare i carichi di un tetto verde. Gernot Minke e Bjørn Kierulf decisero di realizzare questo progetto inizialmente previsto in Spagna per essere un coffee shop, è stato quindi modificato e adattato a un clima continentale.

Bjørn Kierulf si è occupato in modo particolare della fisica dell’edificio, basandosi sulle condizioni climatiche slovacche, con l’obiettivo di fare una “casa passiva” ovvero  $\leq 15 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ . Zuzana Kierulfová ha redatto i progetti necessari a ottenere i permessi di costruire.



Prefabbricazione azienda Fordom  
<http://minke-strawbaledome.blogspot.com/>



Assemblaggio elementi volte  
<http://minke-strawbaledome.blogspot.com/>

I lavori iniziarono il 25 luglio 2010, nell'azienda ForDom a Zvolen, dove nelle tre settimane precedenti al workshop vengono tagliati e assemblati gli elementi prefabbricati in legno, per le volte e la struttura principale ad anello ottagonale che sorregge la cupola. Questo processo di fabbricazione permette di assemblare sul sito i componenti, velocizzando i tempi di realizzazione.

Prima che tutti gli elementi prefabbricati venissero consegnati sul sito, sono state scavate le fondazioni e preparato il basamento che serve da isolante all'edificio.

Per ridurre al minimo l'impatto ambientale erano stati scavati 8 fori per i pilastri in legno massello, riempiti di ghiaia e poi ricoperti in superficie da una colata di cemento per un totale di 1,6 m<sup>3</sup>.

In seguito viene posato un telo di geotessile e ricoperto con ghiaia di vetro cellulare come vespaio; una volta pressato e livellato, serve da sottofondo isolante al pavimento in argilla. Lo strato di vetro cellulare deve essere più profondo lungo il perimetro della struttura, per aumentare l'isolamento e il drenaggio. Per semplificare l'inserimento delle colonne nei fori vengono realizzate delle scatole in legno intorno ai pilastri, successivamente rimosse.



Scavi fondazione  
<http://minke-strawbaledome.blogspot.com/>

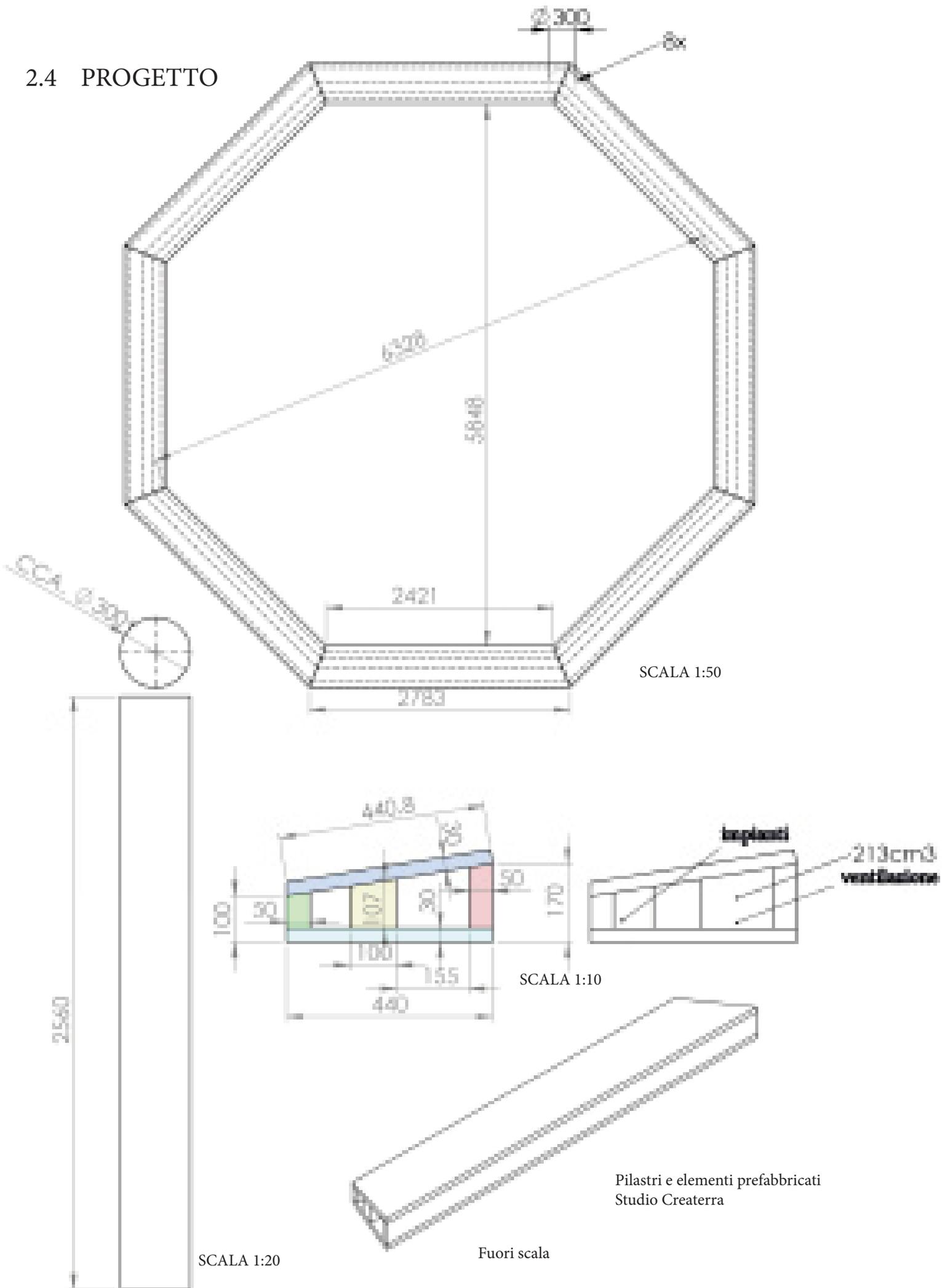


Posa del geotessile  
<http://minke-strawbaledome.blogspot.com/>



Posa del vetro cellulare  
<http://minke-strawbaledome.blogspot.com/>

## 2.4 PROGETTO





SCALA 1:20



Canaline interne alla corona di legno e assemblaggio della struttura principale  
<http://minke-strawbale dome.blogspot.com/>

In seguito vengono inseriti i pilastri in legno massello nelle relative scatole e montata la struttura ad anello che li unisce. Questa struttura scatolare al suo interno - oltre a reggere il peso della cupola centrale - è divisa al suo interno in due volumi separati, quello più esterno di  $213 \text{ m}^3$  per la ventilazione, diffondendo aria fresca nelle volte perimetrali attraverso una bocchetta, mentre il secondo per i cavi. Per assicurarsi che siano ermetiche e impermeabili vengono sigillati gli angoli più suscettibili a dispersioni con del nastro adesivo.

### PILASTRI LEGNO MASSELLO

Ø300 mm

$$\pi \times 0,15^2 \text{ m} \times 2,56 \text{ m} = 0,18 \text{ m}^3 \times 8 = 1,44 \text{ m}^3$$

$$1,44 \text{ m}^3 \times 761 \text{ kg/m}^3 = 1095,84 \text{ kg}$$

### TRAVI IN LEGNO

$$\text{■} \quad ((2,422 \text{ m} + 2,783 \text{ m}) \times 0,441 \text{ m}) / 2 = 1,148 \text{ m}^2 \times 0,03 \text{ m} = 0,034 \text{ m}^3$$

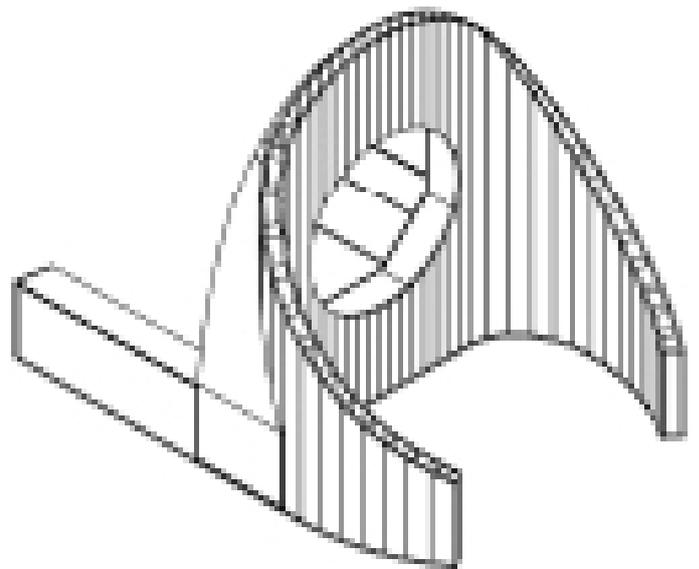
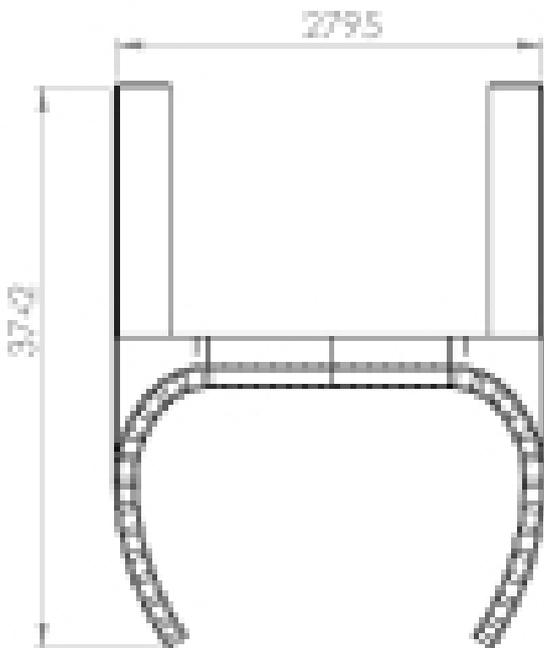
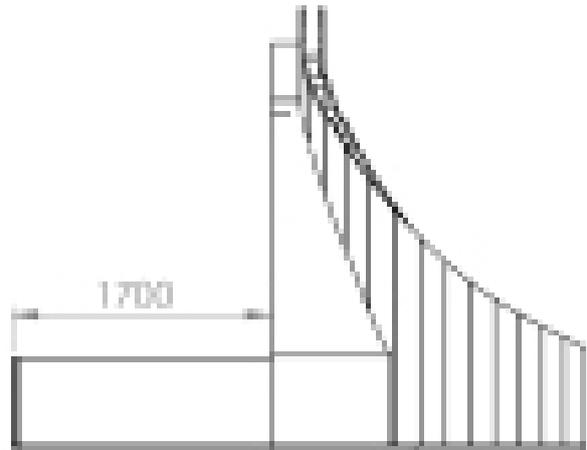
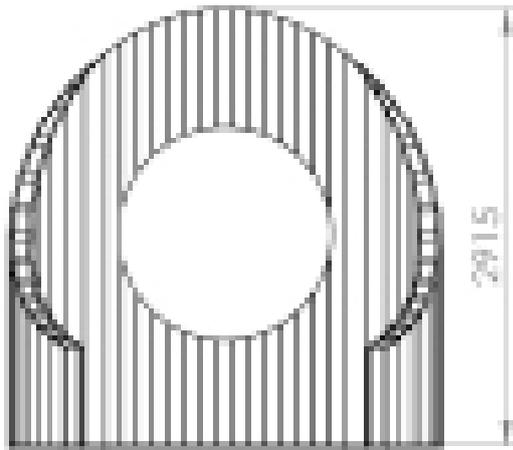
$$\text{■} \quad ((2,422 \text{ m} + 2,783 \text{ m}) \times 0,440 \text{ m}) / 2 = 1,145 \text{ m}^2 \times 0,03 \text{ m} = 0,034 \text{ m}^3$$

$$\text{■} \quad ((0,07 \text{ m} + 0,08 \text{ m}) \times 0,05 \text{ m}) / 2 = 0,00375 \text{ m}^2 \times 2,422 \text{ m} = 0,00908 \text{ m}^3$$

$$\text{■} \quad ((0,09 \text{ m} + 0,11 \text{ m}) \times 0,1 \text{ m}) / 2 = 0,01 \text{ m}^2 \times 2,603 \text{ m (lunghezza media)} = 0,026 \text{ m}^3$$

$$\text{■} \quad ((0,13 \text{ m} + 0,14 \text{ m}) \times 0,05 \text{ m}) / 2 = 0,00675 \text{ m}^2 \times 2,783 \text{ m} = 0,019 \text{ m}^3$$

$$\text{TOT} = 0,122 \text{ m}^3 \times 529 \text{ kg/m}^3 = 92,84 \text{ kg}$$



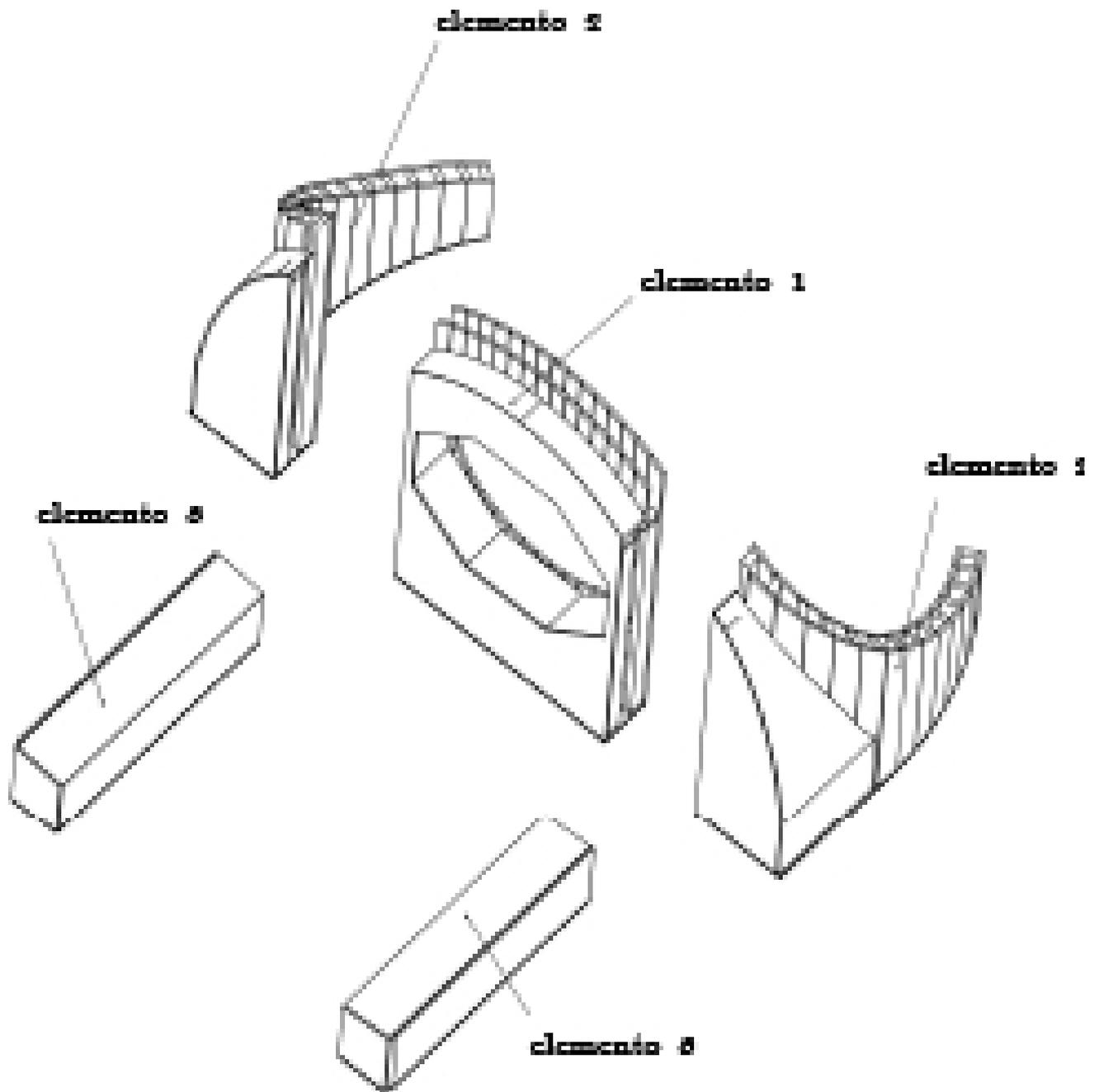
SCALA 1:50

Elemento prefabbricato per la volta assemblato  
Studio Createrra



Assemblaggio degli elementi prefabbricati  
<http://minke-strawbale dome.blogspot.com/>

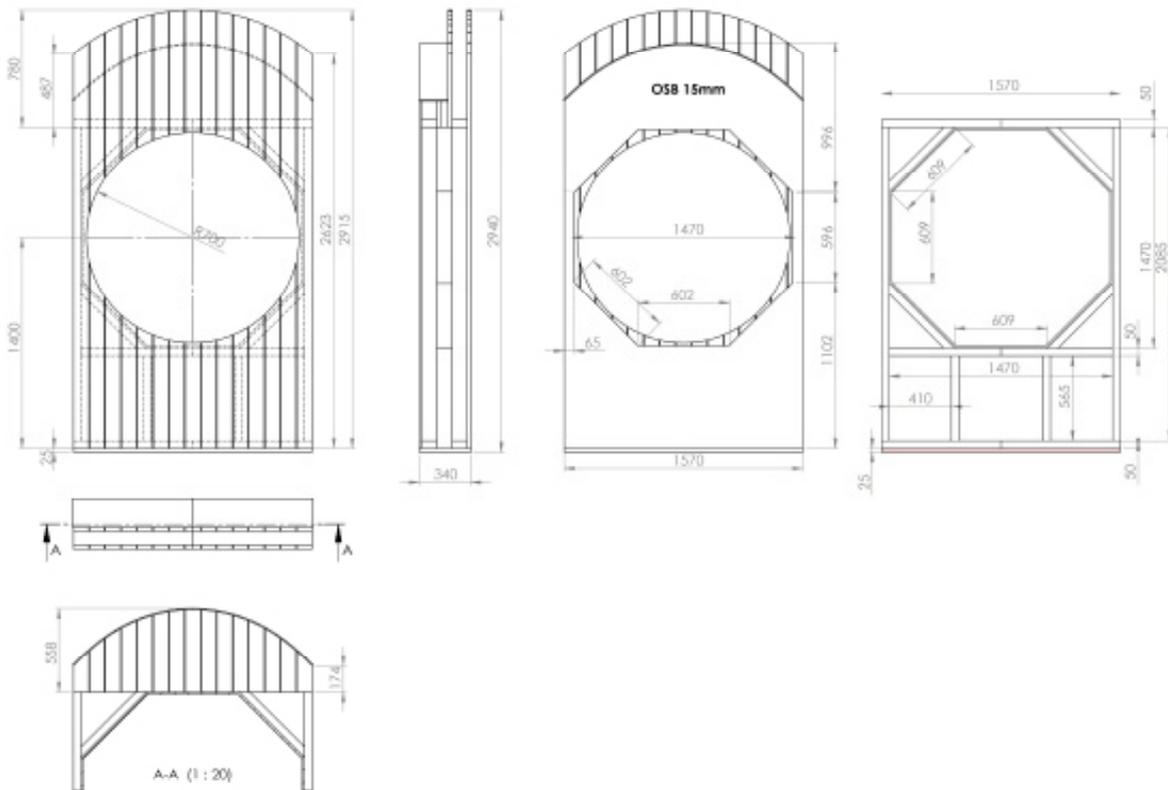
Ora che tutti gli elementi prefabbricati sono stati consegnati, mediante una gru vengono assemblate le 8 volte tutt'intorno all'anello centrale che compongono lo scheletro della struttura. Ognuna di loro è divisa in 3 parti: quella centrale con il vano per la finestra, gli elementi laterali esterni che danno una forma originale all'edificio e la terza sono elementi scatolari che definiscono le dimensioni delle balle di paglia che ricopriranno le volte.



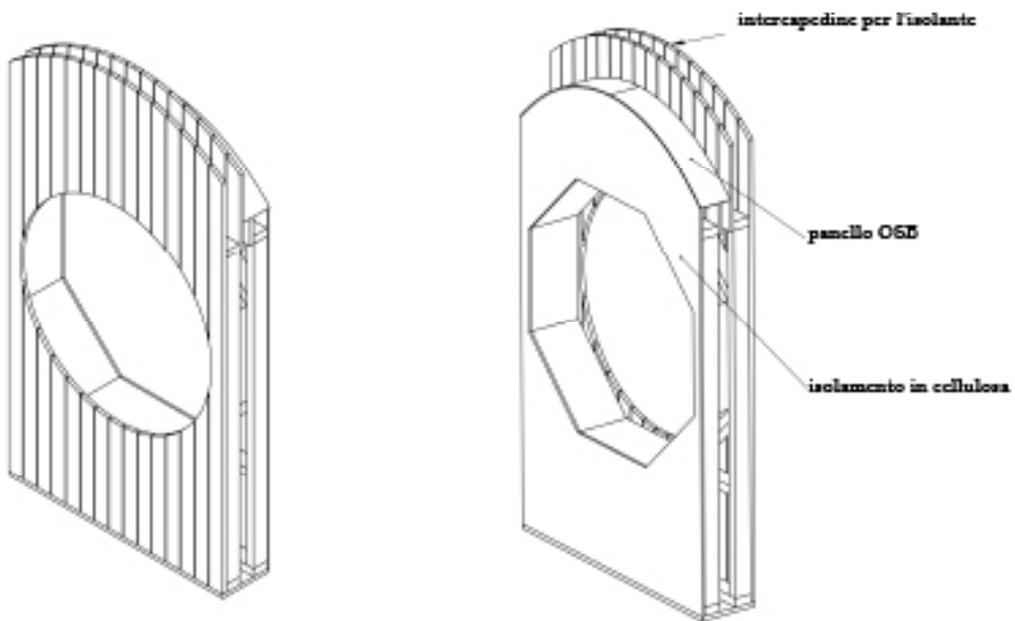
Suddivisione elemento prefabbricato  
 Studio Createrra



Assemblaggio degli elementi prefabbricati  
<http://minke-strawbale dome.blogspot.com/>



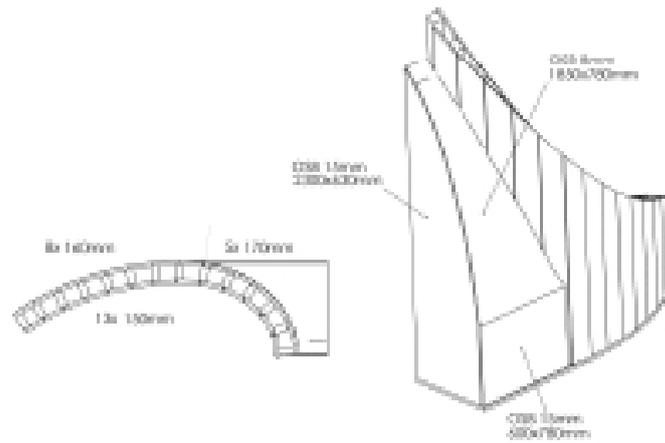
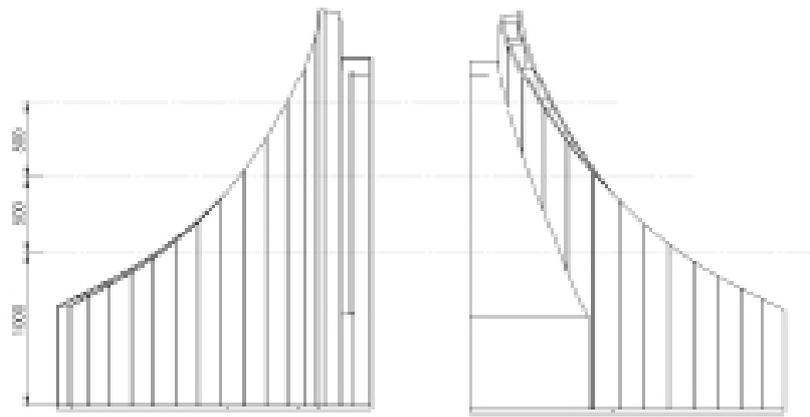
SCALA 1:50  
 Dettagli dell'elemento numero 1  
 Studio Createrra



ELEMENTO 1	Lunghezza	Numero
Montanti 50x100mm:	2085mm	4
	1570mm	4
	1470mm	2
	609mm	8
	565mm	4
Listelli 25 x 100mm:	3000mm	15
	780mm	15
	600mm	15
OSB 8mm	190x900mm	2
OSB 15mm	1570x1096mm	1
	1570x1000mm	1
	696x65mm	2
	600x300mm	8
OSB 25mm	1570x340mm	1
VETRO	Ø 0,7 m	7

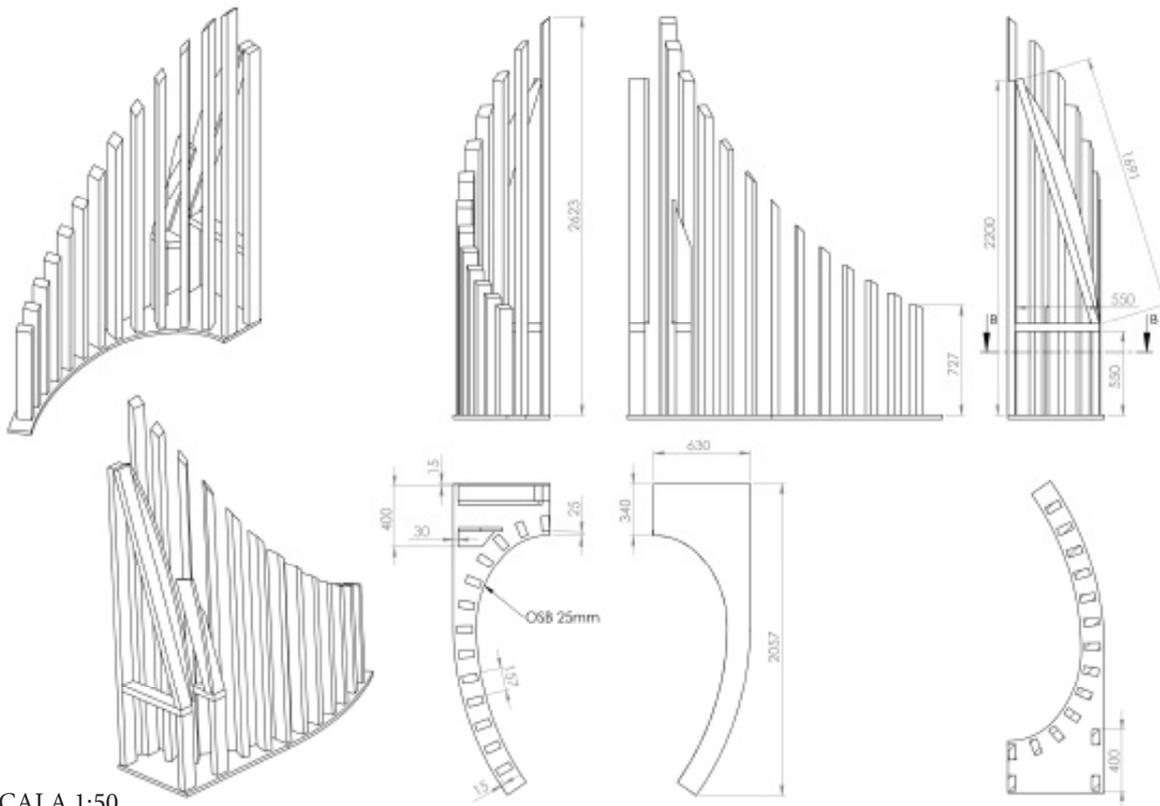


Posizionamento tramite gru  
<http://minke-strawbale-dome.blogspot.com/>



SCALA 1:50

Dettagli dell'elemento numero 2  
Studio Createrra

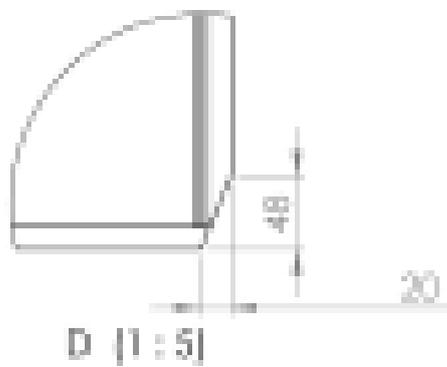
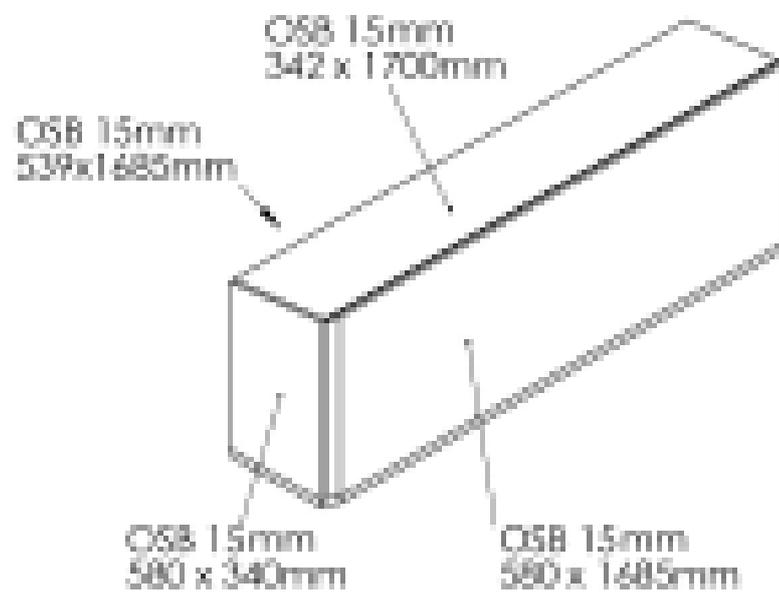
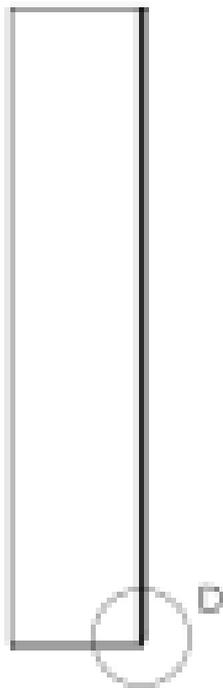
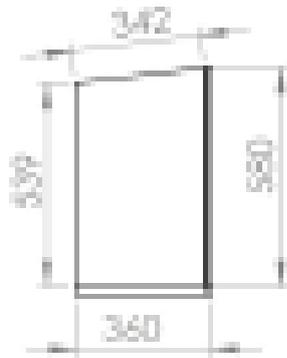


SCALA 1:50

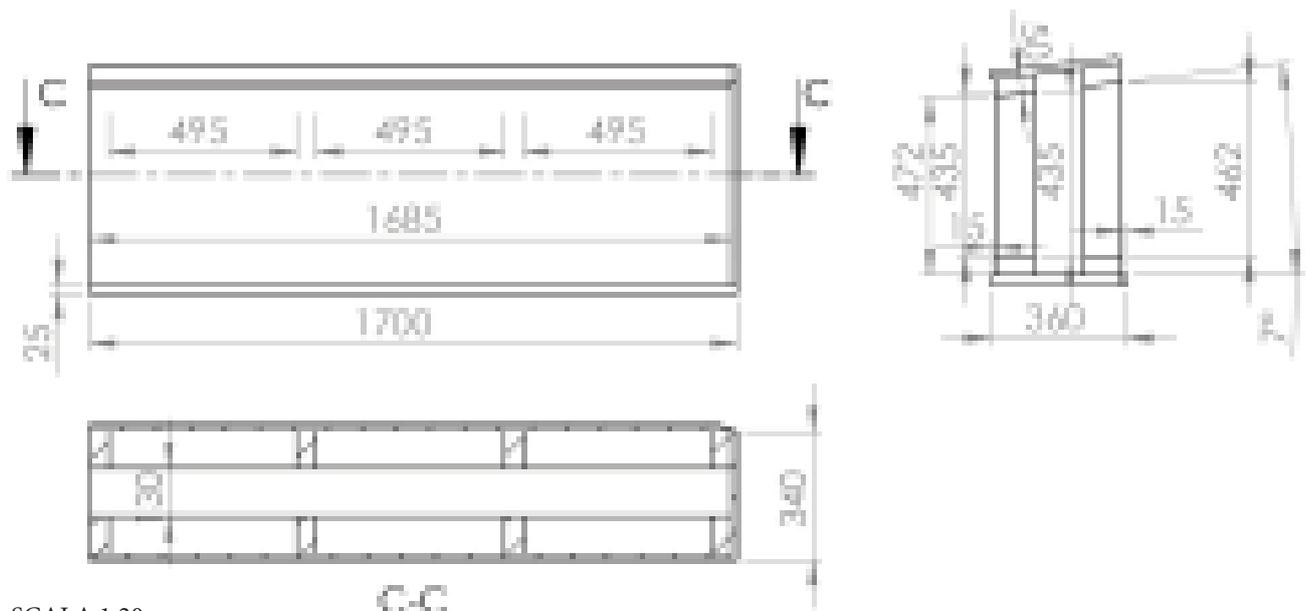
ELEMENTO 2	Lunghezza	Numero
Listelli 25x150mm:	3000mm	5
	1500mm	4
	1000mm	4
Listelli 25 x 160mm	1500mm	8
Listelli 25 x 170mm	2000mm	5
Listelli 25 x 200mm	3000mm	1
	3000mm	6
Montanti 50x100mm	1500mm	8
	2200mm	1
	1690mm	1
	550mm	5
OSB 8mm	1850x780mm	1
OSB 15mm	630x2300mm	1
	780x600mm	1
OSB 25mm	630x2060mm	1



Dettaglio telaio in legno  
<http://minke-strawbaleldome.blogspot.com/>



Dettagli dell'elemento numero 3  
Studio Createrra



SCALA 1:20

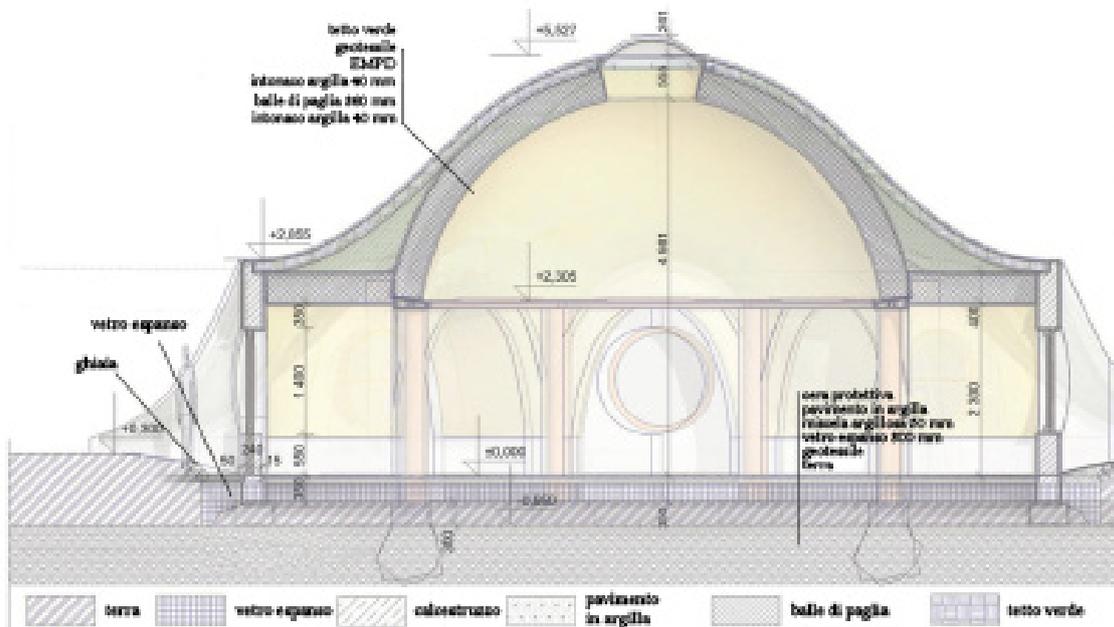
Pianta, prospetto e sezione elemento numero 3

Studio Createrra

ELEMENTO 3	Lunghezza	Numero
Montanti 50x100mm	1685mm	4
	435mm	4
	462mm	4
OSB 15mm	580x1685mm	1
	342x1700mm	1
	539x1685mm	1
	580x340mm	1
OSB 25mm	360x1700mm	1



SOMMATORIA	Lunghezza	Elemento	Numero	Numero totale x8	TOT	kg
MONTANTI 50x100mm	3000mm	1	10	80	5,28 m <sup>3</sup>	529 kg/m <sup>3</sup>
		2	26	208		2793,12 kg
		3	8	64		
LISTELLI 25x150mm: LISTELLI 25 x 160mm LISTELLI 25 x 170mm LISTELLI 25 x 200mm LISTELLI 25 x 100mm	3000mm	2	18	144	4,69 m <sup>3</sup>	529 kg/m <sup>3</sup>
		2	8	64		2481,01 kg
		2	10	80		
		2	2	16		
		1	23	184		
OSB 8mm	1250x2500mm	2			40,62 m <sup>2</sup>	
		1				
OSB 15mm	1250x2500mm	1			200 m <sup>2</sup>	
		2				
OSB 25mm	1250x2500mm	1+2+3			50 m <sup>2</sup>	
VETRO	Ø 0,7 m	2	3	21	9,12 m <sup>2</sup>	65



SCALA 1:100

Sezione della struttura e dettaglio materiali

Studio Createrra

La struttura si articola in due parti, la cupola centrale che poggia sull'anello ottagonale in legno sostenuto dai pilastri e 8 spazi voltati intorno. La cupola ha un diametro di 6 m per un'altezza di circa 5,5 m, ottenendo una superficie complessiva di 64 m<sup>2</sup>. Nella parte centrale troviamo lo spazio più grande per riunioni e incontri con i clienti, mentre gli spazi intorno vengono usati come ingresso, cucina, salotto e 5 postazioni di lavoro. I 36 cm di paglia sono rivestiti da entrambi i lati da 4+4 cm di intonaco che garantiscono la protezione e servono da massa di accumulo termico. Al di sotto dell'intonaco, ai piedi delle volte, sono presenti delle resistenze elettriche che forniscono calore in caso di necessità (1900 W).

La paglia è arrivata in cantiere in balle predimensionate che sono state in seguito ritagliate e affilate per un totale di 208 balle; terra e argilla sono i componenti principali per gli intonaci. Una volta costruite le volte e la cupola, il passo successivo è stata la realizzazione del solaio contro terra.

Materiali solaio contro terra:

CALCESTRUZZO

Dato fornito da Bjorn Kierulf:  $1,6 \text{ m}^3 \times 2500 \text{ kg/m}^3 = 4000 \text{ kg}$

GEOTESSILE

$\varnothing = 12 \text{ m}$

$\pi \times r^2 = 113,1 \text{ m}^2$

$\Rightarrow 0,3 \text{ kg/m}^2 \times 113,1 \text{ m}^2 = 33,93 \text{ kg}$

VETRO CELLULARE

Bjørn Kierulf dichiara sul suo blog che sono stati usati 40 m<sup>3</sup> di vetro cellulare

$40 \text{ m}^3 \times 160 \text{ kg/m}^3 = 6400 \text{ kg}$

MALTA ARGILLA-GHIAIA

spessore = 0,05 m

$\pi \times r^2 \times 0,05 \text{ m} = 1,81 \text{ m}^3$

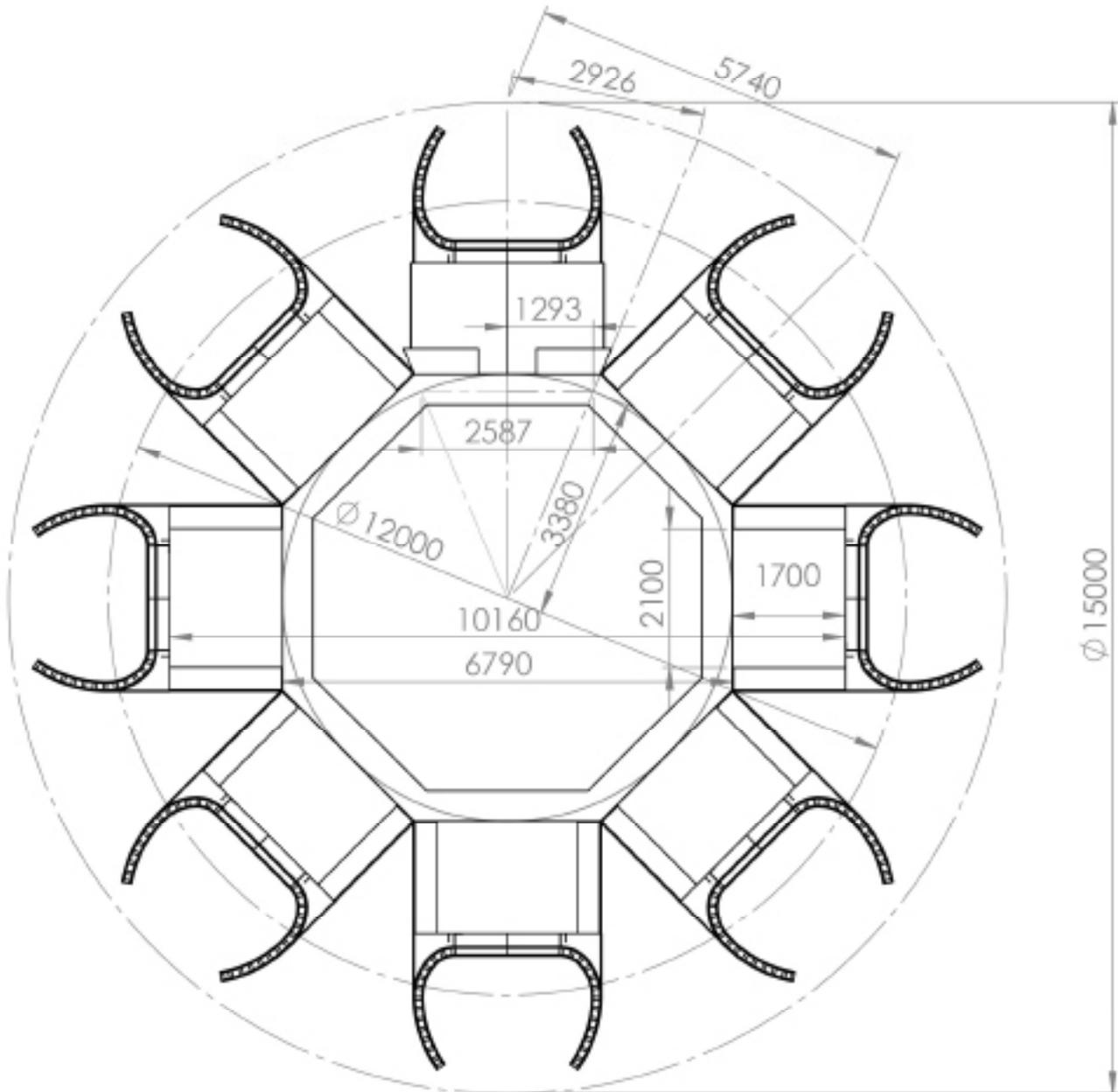
$\Rightarrow 1,81 \text{ m}^3 \times 2300 \text{ kg/m}^3 = 4163 \text{ kg}$

INTONACO DI ARGILLA

spessore = 0,01 m

$\pi \times r^2 \times 0,01 \text{ m} = 1,13 \text{ m}^3$

$\Rightarrow 1,13 \text{ m}^3 \times 1800 \text{ kg/m}^3 = 2034 \text{ kg}$



SCALA 1:100  
 Pianta della struttura  
 Studio Createrra



Telo di copertura per la protezione da agenti atmosferici  
<http://minke-strawbaleldome.blogspot.com/>

Le volte sono state messe in opera su centina e composte da balle di paglia tagliate come fossero conci di pietra. I conci sono stati prima disegnati e poi eseguiti con macchinari secondo precise dimensioni per ottenere una forma regolare. L'ultima balla (che possiamo paragonare ad una chiave di volta) è stata inserita mediante l'utilizzo di pannelli in cartone per ridurre l'attrito e successivamente colpita con un martello in legno perché facesse pressione sulle altre. Una volta creato l'intera volta, le balle sono state fissate con cinghie per comprimerle compattandole. In seguito le superfici sono state ricoperte e protette da uno strato di paglia e argilla e poi rifinite con un secondo strato di argilla.

Il passo successivo sono state le giunzioni tra le volte, composte da balle di paglia e sacchi di vetro espanso: a

Per quanto riguarda le finestre sono state incorporate senza telaio e sigillate con nastro adesivo per la tenuta all'aria, per evitare ponti termici e ridurre al minimo i materiali impiegati. Nel momento in cui è necessario cambiare un vetro, (come è successo in cantiere) è necessario però rimuovere l'intonaco interno e non si possono aprire. Non è un problema in quanto la ventilazione è stata pensata di conseguenza.



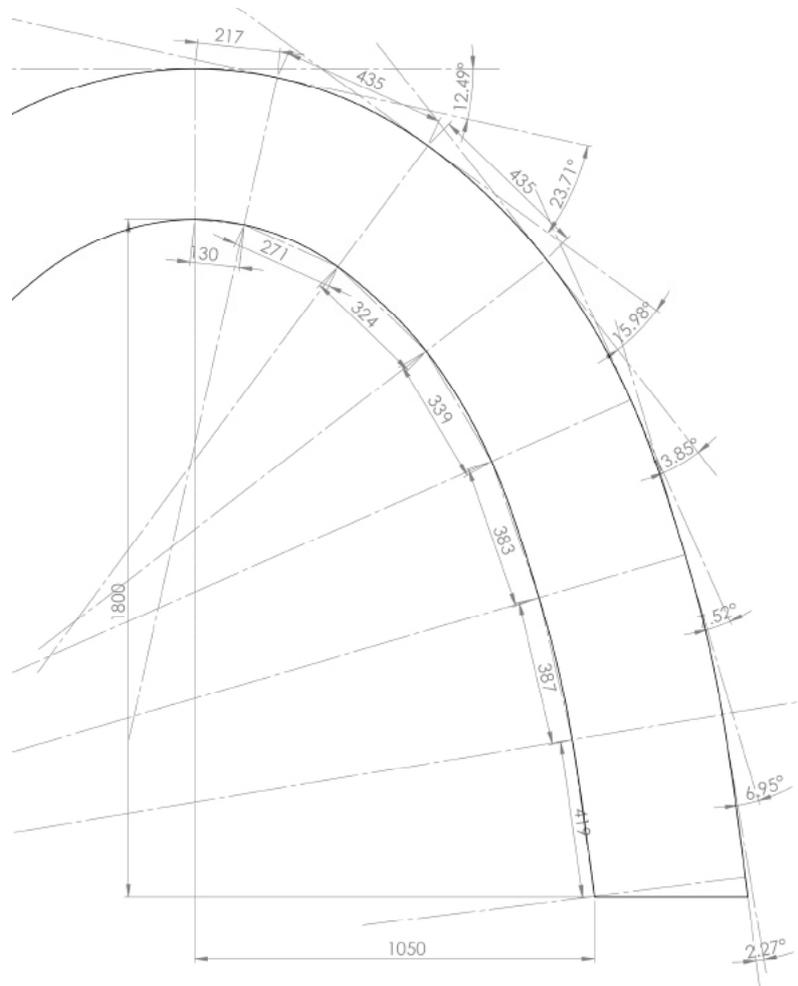
Riempimento delle volte  
<http://minke-strawbaleddome.blogspot.com/>



Posa degli infissi  
<http://minke-strawbaleddome.blogspot.com/>



Inserimento chiave di volta e ancoraggio delle balle di paglia tramite cinghie  
<http://minke-strawbaleddome.blogspot.com/>



SCALA 1:20  
Sezione volta  
Studio Createrra

#### INTONACO ESTERNO ARGILLA

Calcolato unitamente all'intonaco della cupola

#### MALTA DI ARGILLA-GHIAIA

Con Autocad ho calcolato il perimetro esterno e moltiplicato per la profondità della volta

$$5,77 \text{ m} \times 1,7 \text{ m} = 9,81 \text{ m}^2 \times 0,04 \text{ m} = 0,39 \text{ m}^3$$

$$0,39 \text{ m}^3 \times 2300 \text{ kg/m}^3 = 897 \text{ kg}$$

#### PAGLIA

Mediante Autocad ho calcolato l'area occupata dalle balle di paglia e in seguito l'ho moltiplicata per lo spessore

$$\text{area: } 1,02 \text{ m}^2 \times 2 \text{ (simmetria)} = 2,04 \text{ m}^2$$

$$2,04 \text{ m}^2 \times 1,7 \text{ m} = 3,47 \text{ m}^3$$

$$3,47 \text{ m}^3 \times \text{n}^\circ 8 = 27,76 \text{ m}^3 \times 120 \text{ kg/m}^3 = 3331 \text{ kg}$$

Tramite Sketchup ho calcolato il volume occupato dalle balle di paglia negli angoli tra le volte

$$2,86 \text{ m}^3 \times 8 = 22,88 \text{ m}^3$$

$$22,88 \text{ m}^3 \times 120 \text{ kg/m}^3 = 2785 \text{ kg}$$

#### MALTA PAGLIA-ARGILLA

Stesso principio di calcolo della superficie:

$$4,51 \text{ m} \times 1,7 \text{ m} = 7,67 \text{ m}^2 \times 0,03 \text{ m} = 0,23 \text{ m}^3$$

$$0,23 \text{ m}^3 \times 2045 \text{ kg/m}^3 = 470,35 \text{ kg}$$

#### VETRO FINESTRE

raggio finestra = 0,7 m

triplo vetro s = 4 mm

$$\text{superficie} = 0,7^2 \times \pi = 1,54 \text{ m}^2 \times 12 \text{ mm} \times 2,5 = 46,2 \text{ kg}$$

$$46,2 \text{ kg} \times \text{n}^\circ \text{ vetri } 7 = 323,4 \text{ kg}$$

#### INTONACO INTERNO ARGILLA

$$4,51 \text{ m} \times 1,7 \text{ m} = 7,67 \text{ m}^2 \times 0,01 \text{ m} = 0,08 \text{ m}^3$$

$$0,08 \text{ m}^3 \times 1800 \text{ kg/m}^3 = 144 \text{ kg}$$



Inserimento lucernario  
<http://minke-strawbale-dome.blogspot.com/>

Dopodiché si è passati alla costruzione della cupola. In questo edificio troviamo il primo esempio di cupola in balle di paglia portanti. Le balle sono tagliate per meglio seguire la forma della cupola; questa operazione è stata possibile grazie all'ausilio della macchina rotante di Gernot Minke: una macchina che permette di posare le balle di paglia a precisi angoli e inclinazioni. Tra un anello di balle e l'altro sono stati inseriti dei chiodi in legno per fissare le balle l'una all'altra. Nel punto più alto della cupola c'è un oculo chiuso da un lucernario. Il passo successivo è stata la rasatura della cupola per ottenere una superficie più regolare da intonacare.



Piegatura delle balle di paglia per ottenere la giusta curvatura  
 Macchina rotante di Minke  
<http://minke-strawbale-dome.blogspot.com/>



Materiali cupola partendo dall'esterno:

#### LUCERNARIO

Telaio in legno - Disegnato il telaio su Autocad, ho ottenuto un valore di  $0,36 \text{ m}^2 \times 0,45 \text{ m} = 0,162 \text{ m}^3$   
 $0,162 \text{ m}^3 \times 780 \text{ kg/m}^3 = 126 \text{ kg}$

Vetro - Area calotta sferica vetro:  $2 \times \pi \times r \times h = 2 \times \pi \times 0,7 \times 0,4 = 1,76 \text{ m}^2 \times 4 \text{ mm} \times 2,5 = 17,6 \text{ kg}$

#### TETTO VERDE

Sacchi di iuta: 1088 ca  
 capienza: 5 kg =>  $10 \text{ kg} \times 1088 = 10880 \text{ kg}$   
 peso: 200 g =>  $1088 \times 0,2 \text{ kg} = 217,6 \text{ kg}$

#### LAMINE DI METALLO

Dimensione:  $0,3 \text{ m} \times 0,3 \text{ m} = 0,09 \text{ m}^2 \times 22 \text{ n}^\circ \text{ lamine} \times 8 \text{ n}^\circ \text{ volte} = 15,84 \text{ m}^2$   
 $15,84 \text{ m}^2 \times 3,034 \text{ kg/m}^2 = 48,06 \text{ kg}$

#### GEOTESSILE

Solo nella parte superiore è presente il geotessile  
 =>  $0,3 \text{ kg/m}^2 \times 40 \text{ m}^2 = 12 \text{ kg}$

#### GUAINA EPDM

Superficie:  $70 \text{ m}^2$   
 =>  $1,9 \text{ kg/m}^2 \times 70 \text{ m}^2 = 133 \text{ kg}$

#### INTONACO ARGILLA

Tramite Sketchup ho calcolato l'intera superficie esterna  
 $357 \text{ m}^2 \times 0,01 \text{ m} = 3,57 \text{ m}^3$   
 =>  $3,57 \text{ m}^3 \times 1800 \text{ kg/m}^3 = 6426 \text{ kg}$

#### MALTA DI ARGILLA-GHIAIA

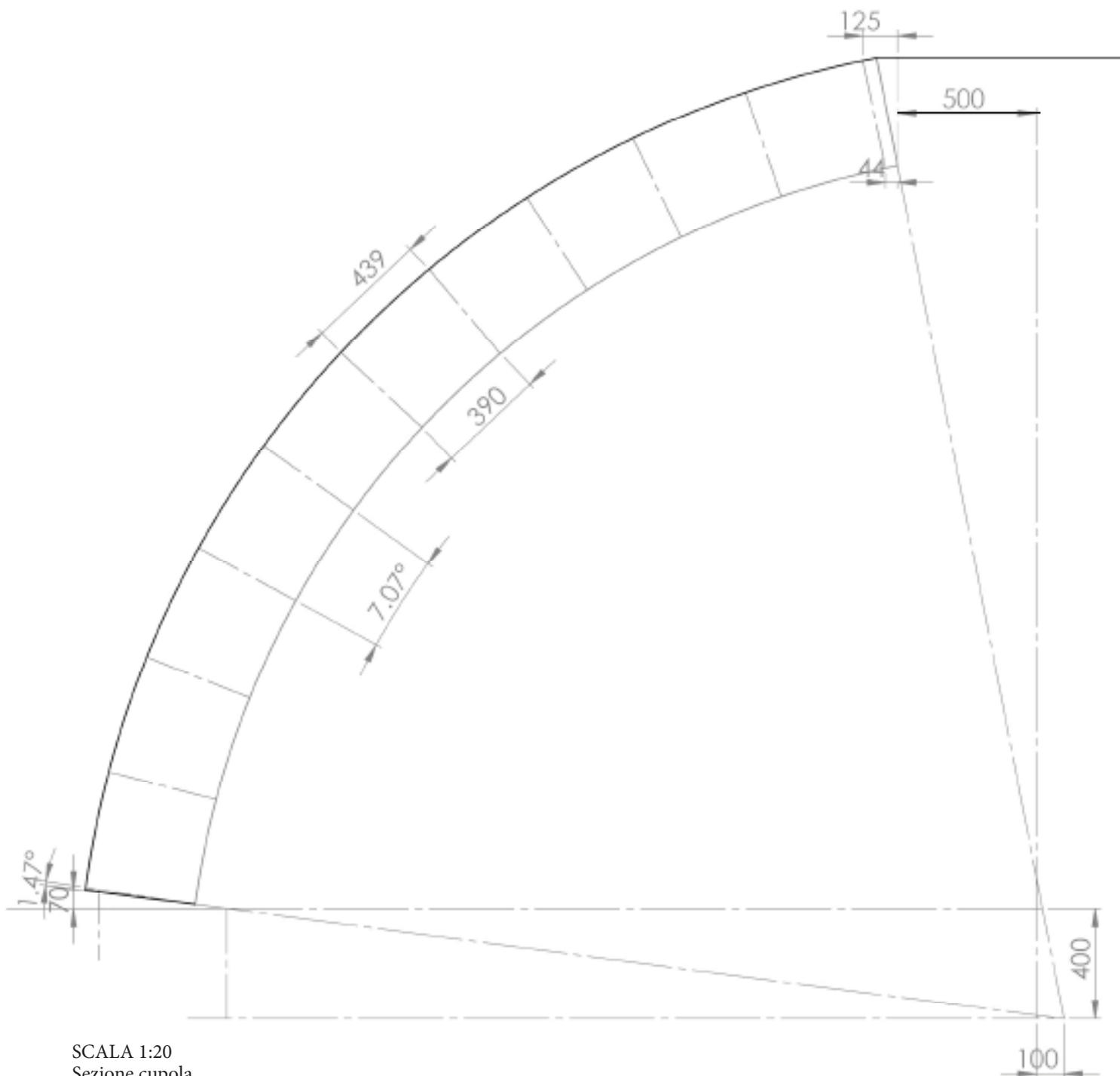
Tramite Sketchup ho calcolato l'intera superficie esterna  
 $357 \text{ m}^2 \times 0,02 \text{ m} = 10,71 \text{ m}^3$   
 =>  $10,71 \text{ m}^3 \times 2300 \text{ kg/m}^3 = 16422 \text{ kg}$

#### PAGLIA

Le dimensioni delle balle sono per lo più fisse:  $38 \times 50 \times 85 \text{ cm}$  e vengono impilate usando una macchina che Minke da tempo usa nei suoi progetti in adobe. Per ricavare il volume di paglia ho sottratto gli strati di argilla al volume totale della cupola.  
 $23,86 \text{ m}^3 - 2,12 \text{ m}^3 - 2,69 \text{ m}^3 = 19,05 \text{ m}^3$   
 =>  $19,05 \text{ m}^3 \times 120 \text{ kg/m}^3 = 2286 \text{ kg}$

#### CHIODI DI LEGNO

Lunghezza 1,5 m,  $\varnothing 0,04 \text{ m}$ , numero elementi 56.  
 $2 \times \pi \times r \times h = 10,56 \text{ m}^3$   
 $10,56 \text{ m}^3 \times 529 \text{ kg/m}^3 = 5586,24 \text{ kg}$



SCALA 1:20  
 Sezione cupola  
 Studio Createrra

### MALTA PAGLIA-ARGILLA

Stesso principio:

$$53,01 \text{ m}^2 \times 0,03 \text{ m} = 1,59 \text{ m}^3$$

$$1,59 \text{ m}^3 \times 2045 \text{ kg/m}^3 = 3251,55 \text{ kg}$$

### FINITURA INTERNA DI ARGILLA

Ricreando il modello su Sketchup ho ricavato la superficie interna della cupola.

$$53,01 \text{ m}^2 \times 0,01 \text{ m} = 0,53 \text{ m}^3$$

$$\Rightarrow 0,53 \text{ m}^3 \times 1800 \text{ kg/m}^3 = 954 \text{ kg}$$



Gernot Minke verifica la costruzione della cupola  
<http://minke-strawbaleedome.blogspot.com/>



La struttura coperta durante i lavori per proteggere l'intonaco di argilla appena posato  
<http://minke-strawbale dome.blogspot.com/>



Posa degli intonaci mediante delle pompe  
<http://minke-strawbale dome.blogspot.com/>



Posa degli intonaci esterni della cupola e asciugatura di quelli interni  
<http://minke-strawbale dome.blogspot.com/>

Finita la parte strutturale, si è passati agli intonaci. Mediante delle pompe è stata spruzzata sulla superficie esterna una impasto di argilla, ghiaia e sabbia che riveste le balle di paglia. Successivamente è stato posato un rivestimento impermeabile in EPDM, un telo nero con un foro di 90 cm al centro per il lucernario. Per la posa è stata smontata la struttura in legno che copriva l'edificio e tramite una gru viene adagiato. Al di sopra della membrana EPDM è stato sistemato un strato di geotessile, ma unicamente nella parte superiore della cupola in quanto scivolerebbe verso il basso e la terra non presenta pietre taglienti. Per fissare EPDM sono state utilizzate delle piastre metalliche fissate al perimetro delle volte.

Sono stati impiegati dei grandi ventilatori per velocizzare l'asciugatura e ridurre l'umidità interna. Ultimata l'asciugatura la struttura è stata ricoperta di sacchi di iuta riempiti di terra da cui è poi germogliata la vegetazione.

A ottobre 2010 i lavori sono stati completati.

A fine novembre, durante una notte particolarmente piovosa, i sacchi di iuta su un fianco dell'edificio, sono franati accatastandosi ai piedi della struttura. Due giorni dopo, altri due fianchi hanno subito la stessa sorte. Nonostante si fosse creato uno squilibrio nei carichi gravanti sulla cupola, nessuna crepa si è formata.

A dicembre dello stesso anno, durante il primo inverno le temperature hanno raggiunto  $-7^{\circ}\text{C}$  mentre la temperatura all'interno si aggirava intorno ai  $17^{\circ}\text{C}$  con il solo ausilio delle strisce riscaldanti da 1900 W; non c'è stato alcun segno di scioglimento della neve in copertura, indice di buon isolamento. Secondo le misurazioni di Kierulf la temperatura della terra sotto il vetro cellulare era di  $14,5^{\circ}\text{C}$  (al centro della cupola) e  $12,2^{\circ}\text{C}$  (sotto le finestre) restando stabile nelle settimane successive. Un ulteriore dato positivo è la misura dell'umidità che al centro delle balle è scesa dall'89% di umidità relativa al 78% e ha continuato a scendere, grazie alla ventilazione e al supporto di un deumidificatore fino a raggiungere il 36% all'interno della cupola.



Asciugatura degli intonaci completata  
<http://minke-strawbale dome.blogspot.com/>



Posa EPDM adattato alla struttura  
<http://minke-strawbale dome.blogspot.com/>



Sacchi di iuta per il tetto verde  
<http://minke-strawbale dome.blogspot.com/>



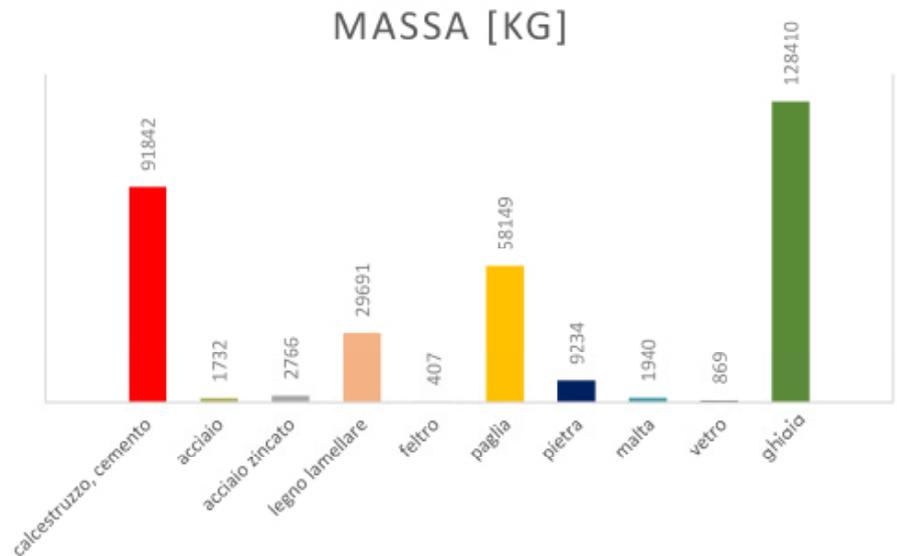
CAP. 3

### 3.1 CONFRONTO e CRITICA

### MASSA (kg)

calcestruzzo = 91842 kg  
 acciaio = 1732 kg  
 acciaio zincato = 2766 kg  
 legno lamellare = 29691 kg  
 feltro = 407 kg  
 paglia = 58149 kg  
 pietra ollare = 9234 kg  
 malta = 1940 kg  
 vetro = 869 kg  
 ghiaia = 128410 kg

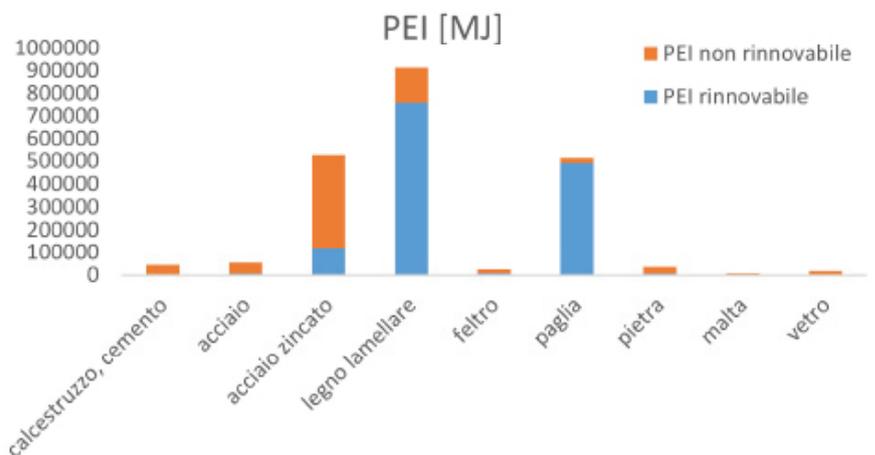
TOT = 325040 kg = 325 t  
 => 2876 kg/m<sup>2</sup>



### PEI (MJ)

calcestruzzo = 45972 MJ  
 acciaio = 56056 MJ  
 acciaio zincato = 524600 MJ  
 legno lamellare = 911796 MJ  
 feltro = 24420 MJ  
 paglia = 513616 MJ  
 pietra ollare = 35991 MJ  
 malta = 7832 MJ  
 vetro = 17574 MJ

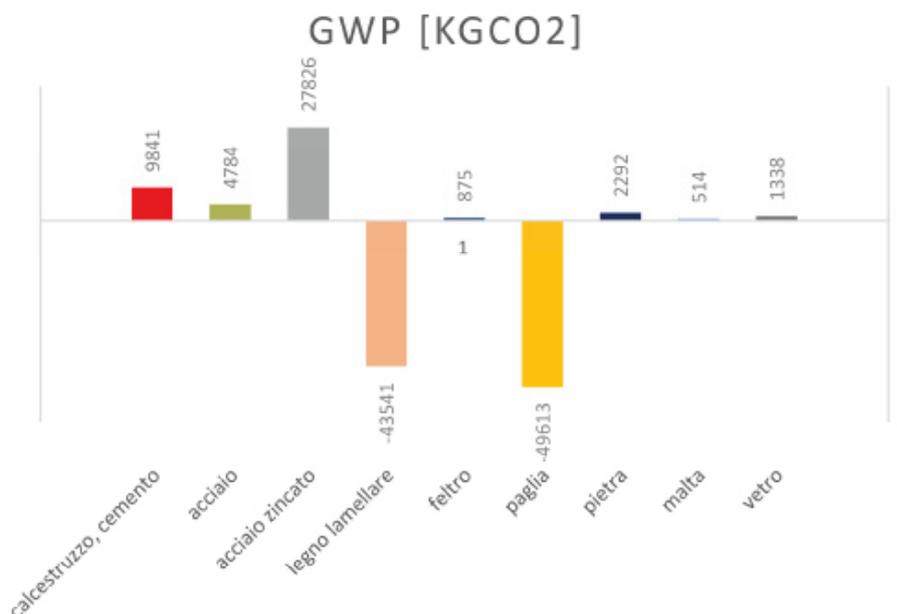
TOT = 2137355 MJ = 2137 GJ  
 => 19 GJ/m<sup>2</sup>



### GWP (kg CO<sub>2</sub>)

calcestruzzo = 9841 kg CO<sub>2</sub>  
 acciaio = 4784 kg CO<sub>2</sub>  
 acciaio zincato = 27826 kg CO  
 legno lamellare = -43541 kg CO<sub>2</sub>  
 feltro = 875 kg CO<sub>2</sub>  
 paglia = -49613 kg CO<sub>2</sub>  
 pietra ollare = 2292 kg CO<sub>2</sub>  
 malta = 514 kg CO<sub>2</sub>  
 vetro = 1338 kg CO<sub>2</sub>

TOT = -45685 kgCO<sub>2</sub> = -45 t  
 => -404 kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>



Questi grafici a istogrammi permettono di mettere in relazione il peso di ciascun materiale impiegato, l'energia necessaria per produrlo e la quantità di CO<sub>2</sub> emessa.

I due materiali che più incidono sul peso complessivo della struttura sono la ghiaia e il calcestruzzo, che rappresentano rispettivamente il 39% e il 28%. A seguire ci sono la paglia con il 18% e il legno lamellare con il 9%. La ghiaia però non è stata presa in considerazione nel grafico dell'energia primaria (PEI) e del potenziale di riscaldamento globale (GWP) in quanto è un materiale preso direttamente in cantiere a costo zero e quindi non richiede energia.

Il legno lamellare essendo un materiale composito richiede una certa quantità di energia in quanto, durante il processo produttivo - oltre ovviamente all'essiccazione - vengono utilizzate delle colle per unire le lamelle e creare un materiale con eguali proprietà del legno. Acciaio e calcestruzzo hanno anch'essi valori alti di energia, ma essendo impiegati in quantità nettamente minori non incidono altrettanto sulla domanda complessiva. Tramite il grafico PEI è possibile inoltre vedere che la maggior parte dell'energia necessaria deriva da fonti rinnovabili.

Analizzando il grafico GWP possiamo notare che i due materiali che più influenzano il grafico sono il legno e la paglia; entrambi però hanno valori negativi che vanno quindi a ridurre la quantità di emissioni. Questo perché, così come il legno, la paglia è una sequestratrice di CO<sub>2</sub> e permette quindi di sottrarre anidride carbonica all'atmosfera durante il suo ciclo di vita che si traduce in un valore negativo nel calcolo delle emissioni di CO<sub>2</sub>.



Vista frontale del Gartist  
Foto di Mathieu Rossi

## MASSA (kg)

calcestruzzo = 4000 kg

geotessile = 46 kg

acciaio zincato = 48 kg

vetro cellulare = 6400 kg

vetro = 341 kg

prodotti base legno = 14916 kg

paglia = 8402 kg

argilla = 9558 kg

✱ malta = 25207 kg

juta = 218 kg

EPDM = 133 kg

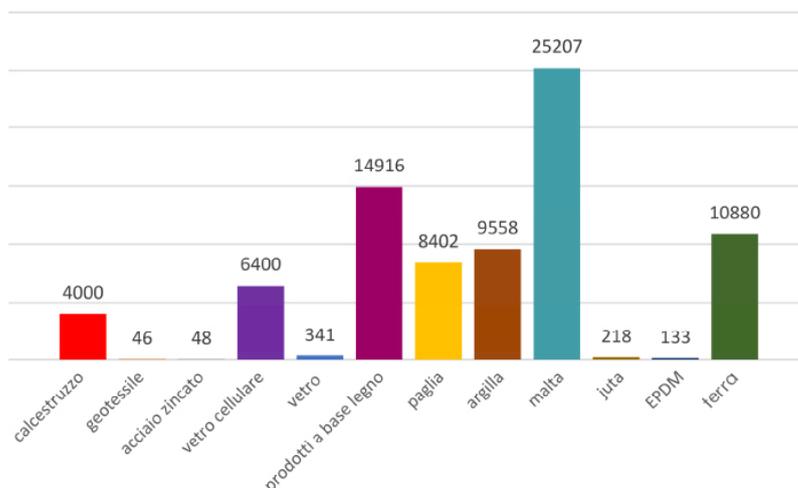
terra = 10880 kg

TOT = 80149 kg = 80 t

=> 1293 kg/m<sup>2</sup>

## Createrra

### MASSA [KG]



✱ non conoscendo le proporzioni esatte della malta, è stato preso in considerazione la sola parte di argilla, in quanto unico componente acquistato 25%

## PEI (MJ)

calcestruzzo = 1578 MJ

geotessile = 3044 MJ

acciaio zincato = 9104 MJ

vetro cellulare = 196736 MJ

vetro = 9640 MJ

prodotti base legno = 278399 MJ

paglia = 60195 MJ

argilla = 14093 MJ

malta = 9292 MJ

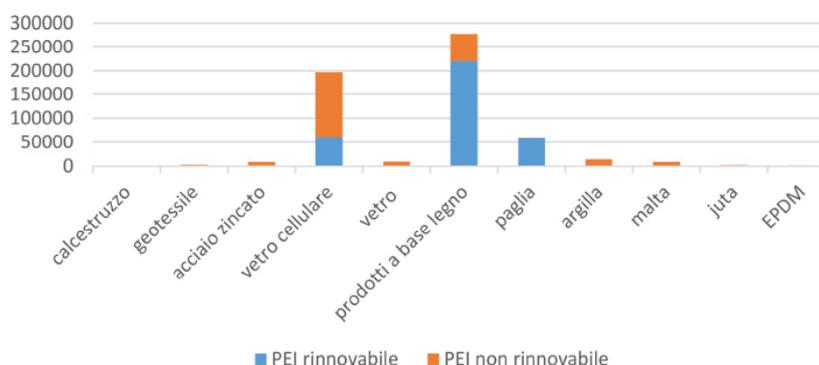
juta = 2448 MJ

EPDM = 1996 MJ

TOT = 586525 MJ = 586 GJ

=> 9,4 MJ/m<sup>2</sup>

### PEI [MJ]



## GWP (kg CO<sub>2</sub>)

calcestruzzo = 338 kg CO<sub>2</sub>

geotessile = 95 kg CO<sub>2</sub>

acciaio zincato = 483 kg CO<sub>2</sub>

vetro cellulare = 8896 kg CO<sub>2</sub>

vetro = 734 kg CO<sub>2</sub>

prodotti base legno = -18715 kg CO<sub>2</sub>

paglia = -5820 kg CO<sub>2</sub>

argilla = 3356 kg CO<sub>2</sub>

malta = 2213 kg CO<sub>2</sub>

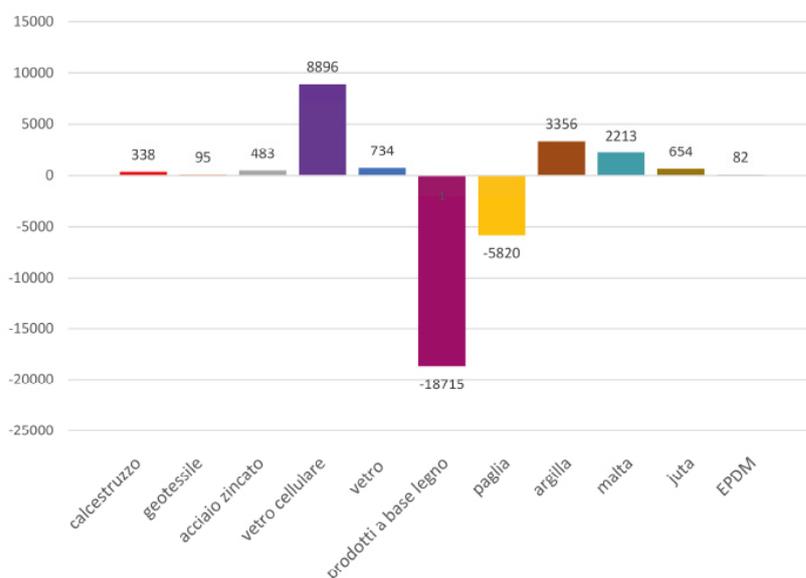
juta = 654 kg CO<sub>2</sub>

EPDM = 82 kg CO<sub>2</sub>

TOT = -7685 kg CO<sub>2</sub> = -7,6 t CO<sub>2</sub>

=> -124 kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>

### GWP [KGCO<sub>2</sub>]



Dal grafico della massa possiamo affermare che circa il 50% del peso totale della struttura è dovuto alla malta e ai prodotti a base legno. Ciononostante i materiali più energivori di questa struttura sono il vetro cellulare e i prodotti a base legno che insieme rappresentano più del 80% dell'energia. Il 70% dell'energia del vetro cellulare non è rinnovabile però, malgrado questo, bisogna precisare che, per la produzione di questo isolante viene usato materiale vitreo riciclato.

Per quanto riguarda i prodotti a base legno vale lo stesso discorso del Gartist ma a differenza del vetro cellulare, il 80% dell'energia richiesta è rinnovabile.

Dal grafico GWP si possono trarre alcune conclusioni: i protagonisti di questo grafico sono i prodotti a base legno che rappresentano il 45% e il vetro cellulare 22%, mentre tutti gli altri mantengono ordini di grandezza inferiori.

La paglia e i prodotti a base legno hanno valori negativi che vanno a ridurre la produzione di gas serra.



Crescita della vegetazione  
Foto di Andrea Bocco



Crescita della vegetazione  
Foto di Andrea Bocco

L'edificio Gartist è stato inaugurato ad agosto 2017 ed è tuttora in ottime condizioni, non sono stati necessari interventi di riparazione o manutenzione, a differenza di Createrra in cui alcuni contrattempi si sono verificati durante la costruzione: alcuni intonaci da rifare perché fessurati e problemi di umidità ad una colonna a sostegno della struttura. Mettendo a confronto i due progetti si possono trovare alcune analogie e differenze.

La richiesta dei clienti di Schmidt, era uno spazio in cui lavorare, sano e sostenibile. L'edificio ora funge sia da ufficio che abitazione, grazie a l'adattabilità degli spazi alla vita di una coppia. Il progetto di Minke invece non permette grandi modifiche o trasformazioni degli ambienti al suo interno in quanto la struttura circolare in legno su cui appoggia la cupola non permette di andare ad inserire un piano intermedio che sfrutti il volume della cupola, limitando la modificabilità degli spazi. Nel caso in cui si volesse modificare la destinazione d'uso, risulterebbe necessario apportare alcune modifiche. In primis l'assenza di bagno, alla quale si può rimediare in quanto l'allacciamento al sistema idrico/fognario è presente. Per fare fronte a questo problema Kierulf ha dovuto mettere a disposizione dei suoi colleghi il bagno di casa sua. Trasformare lo spazio in un'abitazione è possibile, anche se la pianta centrale limita la suddivisione degli ambienti. Il punto forte di questo edificio è l'illuminazione perché ci sono finestre lungo tutto il perimetro e un lucernario al centro della cupola illumina la parte centrale. La stessa cosa vale per il Gartist che oltre ad avere le aperture al piano terra, un notevole apporto solare è ottenuto grazie al lucernario centrale.

Entrambe le strutture hanno un volume compatto ed uniforme, evitando possibile aggetti o superfici disperdenti si migliora l'isolamento e si riducono i ponti termici.

Il progetto di Schmidt, comporta la creazione di un volume molto alto rispetto all'estensione in pianta, che non sempre si riesce a sfruttare appieno. Essendo molto difficile creare delle aperture nel tetto del Gartist, a causa della sua struttura ad arco, la creazione di piani intermedi senza rinunciare all'illuminazione naturale non è possibile.

Nel Gartist sono state usate balle jumbo e alcuni sottomultipli, che a causa del loro peso e delle dimensioni poco pratiche, è stato necessario l'ausilio di una gru, mentre nel cantiere di Createrra il taglio delle balle di paglia è stato più complesso per ottenere conci con diverse inclinazioni ma essendo decisamente più piccoli, la costruzione è stata fatta interamente a mano.

Il principio costruttivo di Werner Schmidt che si basa sull'utilizzo delle balle jumbo, permette di creare strutture relativamente alte, tuttavia l'inconveniente è lo spessore dei muri perimetrali che riduce notevolmente la superficie abitabile. Secondo Schmidt attraverso questa tecnica sarebbe possibile creare strutture ancora più grandi e alte, andando però ad aumentare di pari passo lo spessore dei muri.

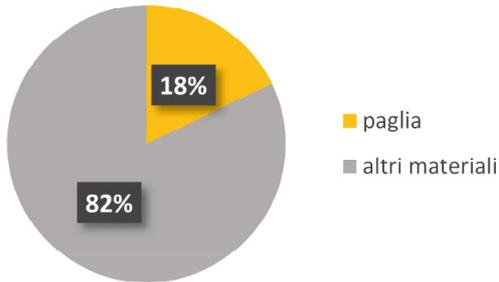
		Gartist		Createrra
GFA		113 m <sup>2</sup>		64 m <sup>2</sup>
PESO	325040 kg	2876 kg/m <sup>2</sup>	80149 kg	1293 kg/m <sup>2</sup>
EMBODIED ENERGY	2137 GJ	19 GJ/m <sup>2</sup>	586 GJ	9,15 GJ/m <sup>2</sup>
EMBODIED CARBON	-45685 kgCO <sub>2</sub>	-404 kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>	-7685 kgCO <sub>2</sub>	-120 kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>

Mettendo a confronto i dati relativi ai grafici in funzione della superficie possiamo ricavare alcune informazioni.

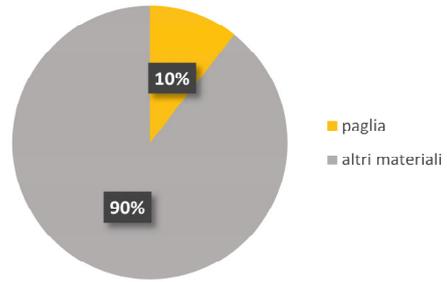
Per quanto riguarda il peso al m<sup>2</sup> di materiale impiegato è minore nel progetto Createrra per la sua tipologia di struttura che si sviluppa in un unico piano al contrario del Gartist che si eleva fino 10 m di altezza. Possiamo quindi dire che la morfologia e la superficie totale della struttura influenzano entrambi il peso al metro quadro: infatti nel progetto di Schmidt è stato utilizzato più del doppio del materiale al m<sup>2</sup> di superficie.

Dal punto di vista energetico il Gartist necessita del doppio di energia rispetto a Createrra, questo è dovuto alla tecnica costruttiva e alla scelta dei materiali impiegati. Schmidt ha optato per una struttura che si basa sul peso stesso delle balle di paglia, che vengono impilate e compongono al tempo stesso la struttura portante e l'isolamento. Questa tecnica però necessita uno spessore murario notevole, pari a 1,20 m e una maggior quantità di paglia. Al contrario Minke utilizza meno materiale perché crea una struttura avvalendosi di elementi prefabbricati in legno e la paglia viene usata come isolante per le volte, mentre per la cupola sfrutta la geometria dei conci di paglia per ottenere una struttura autoportante. In aggiunta il Gartist utilizza alcuni materiali particolarmente energivori quali il legno lamellare che a differenza del legno massello richiede maggiori quantità di energia, e l'acciaio zincato per la copertura, mentre Minke risolve la questione tramite il tetto verde. Ulteriore differenza è la tecnica usata per le fondazioni, che nel caso del Gartist (a causa del terreno umido) sono stati necessari dei pilastri in calcestruzzo e delle travi in acciaio, entrambi materiali pesanti ed energeticamente costosi. Minke invece ha deciso di appoggiare direttamente la struttura su un letto di vetro cellulare.

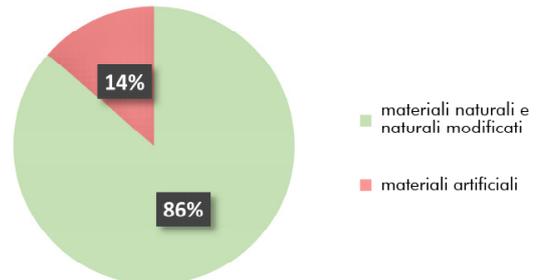
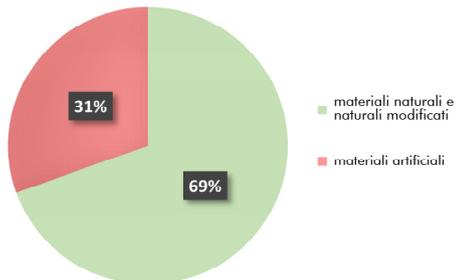
## Gartist



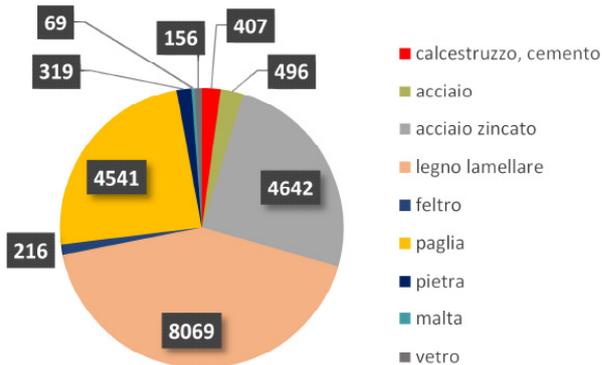
## Createrra



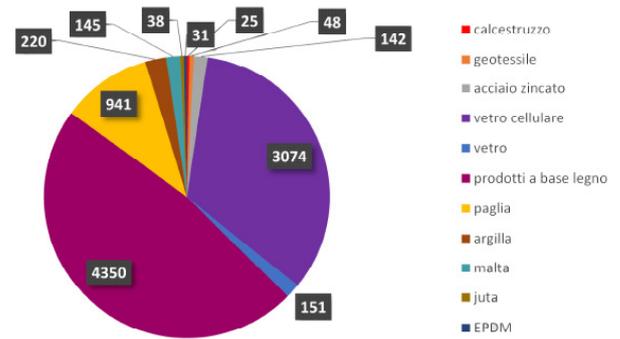
Analisi percentuale kg di paglia rispetto al peso totale dell'edificio



Analisi percentuale dei kg di materiali naturali rispetto al peso totale dell'edificio



19 MJ/m<sup>2</sup>



9,15 MJ/m<sup>2</sup>

Analisi sui valori di embodied energy al metro quadro di ciascun materiale

Tramite i primi due grafici a torta possiamo vedere che nell'edificio di Schmidt è stata usata una quantità maggiore di paglia (in proporzione a tutto il materiale impiegato) rispetto a quello di Minke e malgrado questo, i risultati di PEI e GWP sono più alti nel Gartist. La percentuale di materiale naturale impiegato è maggiore nell'edificio Createrra e ci lascia intendere che l'utilizzo della paglia è un ottimo sistema per limitare le spese di energia e ridurre le emissioni ma non sufficiente, l'impiego di altri materiali naturali è necessario.

Con gli ultimi due grafici a torta possiamo vedere, in alcuni casi, a parità di materiale, il costo di energia al metro quadro. Questo ci può dare l'idea dell'incidenza di ciascun materiale, in funzione dell'utilizzo.

In seguito a questa analisi e al successivo confronto si può concludere che in base alla morfologia dell'edificio, alla scelta dei materiali, l'architetto che ha realizzato la struttura con un'impronta ecologica minore è Gernot Minke. Questo non toglie nessun merito alla realizzazione di Schmidt che rimane un esempio di architettura sostenibile e all'avanguardia.

## 3.2 CONCLUSIONE

Questa tesi ha come obiettivo, da un lato, analizzare due edifici con tecniche costruttive in balle di paglia portante, dall'altro, evidenziare quanto sia importante la scelta dei materiali in fase di progetto in quanto il settore delle costruzioni rappresenta il 40% delle emissioni di CO<sub>2</sub> e il 50% delle risorse consumate annualmente nel mondo. A tal fine, è stata condotta un'indagine quantitativa sui materiali impiegati per la costruzione, grazie alla quale si è potuto indagare sulla richiesta di energia per produrre tutti gli elementi necessari e l'impatto che ha la produzione di questi ultimi sull'ambiente in termini di emissioni di CO<sub>2</sub>.

Tramite il materiale fornitomi dai rispettivi architetti ho potuto calcolare il materiale impiegato, il passo successivo è stato utilizzare ÖKOBAUDAT un database che raccoglie i principali materiali da costruzione, associando per ognuno di loro alcuni indicatori di sostenibilità.

I due edifici presi in considerazione, grazie all'utilizzo di materiali naturali, che durante la loro esistenza assorbono CO<sub>2</sub>, vanno a diminuire drasticamente il gas rilasciato nell'atmosfera durante la produzione.

Questo lavoro si limita al calcolo dell'energia richiesta per produrre e costruire questi edifici, le emissioni di CO<sub>2</sub> incorporate dovute all'estrazione e lavorazione delle materie prime, produzione e trasporto: ciò rappresenta solo una parte del processo completo. Sarebbe interessante esaminare le due fasi successive: l'energia richiesta durante il periodo di fruizione e il successivo smaltimento.

Un altro aspetto preso in considerazione e apprezzato dai progettisti di entrambi gli edifici è la prefabbricazione. Il prefabbricato secondo alcuni studi, parte avvantaggiato rispetto all'edilizia tradizionale del "gettato in opera" in quanto ha un ecobilancio migliore rispetto all'edificazione consueta ed è dunque più sostenibile. La sostenibilità definita dal Rapporto Brundtland (Our Common Future, 1987) come quello sviluppo capace di soddisfare i bisogni della generazione presente senza compromettere quelli delle generazioni future; la figura dell'architetto è tenuto a fare una scelta giudiziosa dei materiali che non può quindi essere trascurata in quanto incide fortemente sul costo energetico e l'impatto ambientale.

In conclusione l'utilizzo di materiali naturali come la paglia rispetto ai materiali composti, associato all'utilizzo di elementi prefabbricati rispetto alla costruzione tradizionale in situ, e infine l'approccio dell'autocostruzione per ridurre l'utilizzo di macchinari e grosse attrezzature sono tutte pratiche che possano ridurre i costi energetici, l'impatto ambientale e i tempi di costruzione.

Ciononostante la costruzione in paglia ha i suoi limiti. L'uso di balle di paglia portante rende difficile la realizzazione di grandi luci. Questo sistema costruttivo è perciò più adatto lì dove l'assetto urbanistico non prevede lo sviluppo in verticale degli edifici prediligendo le aree suburbane o rurali ma difficilmente verrà inserito nelle città densamente edificate o nei centri storici.

"Un passo verso la completa autonomia" è l'obiettivo di Werner Schmidt, e malgrado i limiti attuali di questo materiale questa è la direzione che voglio prendere.

## BIBLIOGRAFIA

- Bocco A., Werner Schmidt. Ecology craft invention, Vienna, Ambra, 2013
- Minke G. & Mahlke F., Building with straw. Design and Technology of a Sustainable Architecture, Birkhäuser, 2005
- Steen A. S., Steen B., David Bainbridge, The Straw Bale House, Chelsea Green, 1994
- Jones B., Building with Straw Bales, Green Books, 2015
- King B. & De Bouter A., Design of Straw Bale Buildings, Green building press, 2009
- Doleman L., Essential Light Straw Clay Construction, New Society, 2017
- Hodge B., Building your straw bale home, Landlinks Press, 2006
- Hollis M., Practical straw bale building, Landlinks Press, 2005
- Morrison A., A Modern Look at Straw Bale Construction, Morrison Group, 2012

## SITOGRAFIA

- <https://www.atelierwernerschmidt.ch/>
- <https://gartist.ch/>
- <http://www.createrra.sk/>
- <https://ozartur.sk/>
- <http://www.ecococon.lt/italian/>
- <http://minke-strawbaledome.blogspot.com/>
- <https://oekobaudat.de/datenbank/browser-oekobaudat.html>
- <https://www.swissinfo.ch/ita>
- <https://sanroccocommunity.org/fotovideo/asn-schmidt/>

*“La paglia sembra leggera e fragile; la maggior parte della gente non sa quanto pesante essa sia. Se la gente conoscesse il vero valore della paglia, si potrebbe verificare una rivoluzione umana che diventerebbe abbastanza potente da cambiare la nazione e il mondo.”*

Masanobu Fukuoka, La rivoluzione del filo di paglia

## RINGRAZIAMENTI

*Sono oramai arrivato alla fine di questo viaggio, e mi rendo conto che non lo avrei percorso alla stessa maniera se non fossi stato circondato da persone disponibili e attente nei miei confronti.*

*Vorrei ringraziare gli architetti Bjørn Kierulf e in modo particolare Werner Schmidt che mi hanno accolto nei loro studi, dedicato il loro prezioso tempo e fornito gli strumenti necessari per redigere al meglio la tesi.*

*Un ringraziamento speciale ai miei genitori che mi hanno sempre permesso di seguire la mia strada, sostenendo le mie scelte e spronandomi a dare il meglio di me.*

*Per ultimi ma non meno importanti, il mio ragazzo e i miei amici che mi hanno appoggiato e mi sono stati vicini durante tutto il mio percorso, aiutandomi nei momenti più difficili e senza i quali non avrei raggiunto questo traguardo.*

*Grazie.*