

POLITECNICO DI MILANO, SCUOLA DI ARCHITETTURA  
E SOCIETÀ, CORSO DI LAUREA IN ARCHITETTURA

# COMPONENTI STAMPATI IN 3D, PER COSTRUIRE E PER IL COSTRUITO.

PROGETTAZIONE, PROTOTIPAZIONE E TEST DI UN  
SISTEMA DI LATERIZI STAMPATI IN 3D CON ARGILLA.

RELATORE:  
INGRID PAOLETTI

STUDENTE:  
LUCA DE SANCTIS

MATRICOLA:  
782303

ANNO:  
2013/2014



Politecnico di Milano  
Scuola di Architettura e Società,  
corso di laurea in Architettura  
indirizzo Tecnologico Ambientale

## **Componenti stampati 3d per costruire e per il costruito.**

Progettazione, prototipazione e test di un  
sistema di laterizi stampati in 3d con argilla

Relatore:  
**Ingrid Paoletti**

Studente:  
**Luca De Sanctis**

Anno accademico:  
**2013-2014**

Matricola:  
**782303**



## **Indice:**

- Indice delle figure
- Indice delle tabelle
- Indice delle tavole
- Abstract
- Abstract (English)
- La rivoluzione della fabbricazione digitale, come costruire quasi tutto
- I luoghi fisici dell'innovazione di prodotto, processo, servizio

### **● Tecnologie di fabbricazione digitale**

**pag 15**

- Le principali tecnologie di fabbricazione digitale
- Inquadramento tecnologico la stampa 3d
- Focus architettonico, la stampa 3d per l'architettura, il caso Arup
- Inquadramento tecnologico, il taglio laser
- Focus architettonico, il taglio laser per l'architettura, il caso dex show room
- Inquadramento tecnologico, il taglio al plasma
- Focus architettonico, il taglio al plasma per l'architettura, il caso della carpenteria
- Inquadramento tecnologico, la fresa o il pantografo cnc
- Focus architettonico, la fresa o il pantografo cnc per l'architettura, il caso del padiglione Snohetta's wild Reideer Foundation
- Inquadramento tecnologico, il plotter da taglio
- Focus architettonico, il plotter da taglio per l'architettura, il caso del padiglione Card board
- Inquadramento tecnologico, il taglio ad acqua
- Focus architettonico, il taglio ad acqua per l'architettura, il caso del materiale lapideo
- Inquadramento tecnologico, il tornio cnc
- Focus architettonico, il tornio cnc per l'architettura, il caso del marmo
- Inquadramento tecnologico, lo scanner laser
- Focus architettonico, lo scanner laser per l'architettura, il caso del rilievo 3d
- Inquadramento tecnologico, robot ed automazione
- Focus architettonico, robot ed automazione per l'architettura, il caso della ricerca
- La fabbricazione digitale per l'architettura ed i suoi componenti

### **● Casi di studio**

**pag 44**

- Viktor-Hektor plotter, un sistema per la grafica murale
- Wasp project, stampanti 3d per case in terra cruda e argilla
- Fab Lab House Iaac project, una casa fabbricata digitalmente
- D-Shape, una stampante 3d per intere strutture
- Il caso cinese, stampa 3d di calcestruzzo per sezioni di edifici
- Countour Crafting, l'utopia del cantiere interamente robotizzato
- Digital tectonics pinch, dal sistema parete al design dei componenti
- P-Wall, fabbricazione empirico-parametrica per il sistema parete ed i suoi moduli
- Bricks Planter, il component design unito alla fabbricazione digitale

### **● Il progetto**

**pag 63**

- Il laterizio dalla storia ai tempi d'oggi
- Il contesto, "lo scenario italiano"
- Concept
- Il Processo cosa permette in generale
- Il sistema cosa permette nello specifico
- I componenti del sistema
- Vincoli dimensionali
- Coordinazione modulare con moduli standard laterizio
- Coordinazione modulare con moduli standard coibenti
- Coordinazione modulare con moduli standard elettrici
- Equilibrio statico dei moduli
- Vincoli di stampa 3d per argilla
- I moduli

- Disegni tecnici e rendering modulo 1
- Disegni tecnici e rendering modulo 2
- Disegni tecnici e rendering modulo 3
- Disegni tecnici e rendering modulo 4
- Rappresentazioni dei componenti nel sistema edilizio
- Procedura di cantiere ed assemblaggio

### ● **Il prototipo**

**pag 91**

- I materiali
- Il processo di stampa
- Il processo di essiccazione
- Il processo di cottura

### ● **Test ai carichi verticali**

**pag 97**

- Norma EN UNI 772-1-2011 - iter procedurale
- Preparazione del pezzo con rilievo e rettifica
- Prova di carico
- Elaborazione dati sperimentali ottenuti dal test di carico

### ● **I test di assorbimento idrico e IRS**

**pag 114**

- Norma EN UNI 772-21 per l'assorbimento idrico di campioni in laterizio o silicato di calcio
- Preparazione del campione con cottura e successiva pesata
- Elaborazione dati sperimentali ottenuti dal test
- 1 Campo di applicazione della norma UN EN 772-11 per IRS
- Iter procedurale IRS
- Elaborazione dati sperimentali ottenuti dal test

### ● **Valutazioni qualitative**

**pag 126**

- Confronto con altri laterizi standard secondo i parametri dei test
- Analisi tempi-costi:
- Conclusioni, applicazioni e possibile business model:
- Bibliografia



## Indice delle illustrazioni

Illustrazione 1: Banco da lavoro di un fab Lab.....	11
Illustrazione 2: Logo-pittogramma dei fab lab internazionalmente riconosciuto.....	14
Illustrazione 3: Maker space con maker al lavoro.....	14
Illustrazione 4: Stampante 3d Sharebot in collaborazione con Arduino.....	17
Illustrazione 5: Varie fotografie del prototipo realizzato, è stato realizzato un design parametrico generativo con i vincoli geometrici imposti dal progetto strutturale.....	18
Illustrazione 6: sorgente laser durante il processo di taglio di una lamiera.....	23
Illustrazione 7: Fotografia del corpo di fabbrica in oggetto.....	25
Illustrazione 8: Processo di taglio al plasma con più sorgenti.....	29
Illustrazione 9: lavorazione di taglio di una trave.....	30
Illustrazione 10: lavorazione di lastra con plasma a più sorgenti.....	30
Illustrazione 11: vista interna del manufatto ligneo realizzato con fresatura cnc, partendo da blocchi fresati e poi assemblati in cantiere.....	32
Illustrazione 12: Tipica fresa a controllo numerico a 3 assi per pannelli.....	34
Illustrazione 13: Plotter da taglio piano.....	34
Illustrazione 14: Il padiglione installato all'esterno.....	35
Illustrazione 15: Water jet in azione su lastra di alluminio.....	43
Illustrazione 16: water jet in azione su materiale lapideo.....	43
Illustrazione 17: in questa lastra è possibile individuare il punto di partenza del tracciato di ogni taglio e lo spessore del taglio .....	44
Illustrazione 18: tornio cnc con tipiche barriere di protezione .....	45
Illustrazione 19: lavorazione per tornitura cnc di un elemento statuario tradizionale.....	46
Illustrazione 20: realizzazione di una colonna con scanalature complesse tramite tornio cnc.....	46
Illustrazione 21: Scanner 3d professionale Leica.....	48
Illustrazione 22: esempio di scansione 3d per un rilievo architettonico.....	49
Illustrazione 23: esempio 2 di scansione 3d per un rilievo architettonico.....	49
Illustrazione 24: Bracci antropomorfi pick and place in catena di montaggio.....	50
Illustrazione 25: Robot antropomorfo KUKA con mandrino fresante.....	62
Illustrazione 26: sperimentazione assemblativa con mattoni semipieni in laterizio e robot antropomorfo.....	63
Illustrazione 27: Progetto swiss wall flying durante il trasporto di un drone di un brick.....	66
Illustrazione 28: Swiss wall flying render.....	66
Illustrazione 29: Plotter applicato su una lavagna.....	68
Illustrazione 30: Motori passo passo per la movimentazione dei tiranti.....	68
Illustrazione 31: Wasp project durante un stampa 3d in argilla di grande formato.....	69
Illustrazione 32: Wasp projet durante la stampa 3d di un plastico architettonico in argilla.....	69
Illustrazione 33: Wasp projet durante il processo di stampa 3d per argilla .....	70
Illustrazione 34: sezione basamentale dell'architettura durante le fasi di assemblaggio.....	71
Illustrazione 35: assemblaggio tramite gru di una sezione.....	71
Illustrazione 36: assonometria del progetto.....	74
Illustrazione 37: Architettura realizzata e team di progetto.....	74
Illustrazione 38: laboratorio D-SHAPE.....	75
Illustrazione 39: Stampante in ambiente out door.....	75
Illustrazione 40: Oggetto scultoreo realizzato con la stampante 3d di D-SHAPE.....	76
Illustrazione 41: Sezioni parziali realizzate con stampa 3d per CLS.....	77
Illustrazione 42: Architettura realizzata con stampa 3d di sezioni architettoniche poi assemblate.....	77
Illustrazione 43: Sezione tipo realizzata alta 2 piani.....	82
Illustrazione 44: Render del sistema.....	84
Illustrazione 45: render della seconda versione del sistema.....	84
Illustrazione 46: rappresentazione render del sistema produttivo.....	85
Illustrazione 47: Render di una terza versione del sistema.....	85
Illustrazione 48: vista di dettaglio dei moduli esagonali.....	86
Illustrazione 49: vista di insieme della parete.....	86
Illustrazione 50: processo di fresatura degli stampi con robot a 7 assi.....	87
Illustrazione 51: schema di lavorazione dei moduli e viste del processo di colaggio del gesso.....	87
Illustrazione 52: vista del sistema parete .....	92

Illustrazione 53: rappresentazione parametrica di controllo previsionale.....	93
Illustrazione 54: render di una facciata con il sistema di moduli plant bricks.....	94
Illustrazione 55: alcuni design dei componenti progettati.....	96
Illustrazione 56: sezione stratigrafica con tutti gli elementi che compongono il sistema.....	97
Illustrazione 57: render di dettaglio del sistema plant bricks.....	97
Illustrazione 58: Schizzi ed appunti progettuali.....	112
Illustrazione 59: Schizzi, appunti progettuali e primi prototipi in scala realizzati in stampa 3d FFF.....	113
Illustrazione 60: assonometria del sistema in particolare del modulo 2 con elementi tecnici interposti.....	116
Illustrazione 61: Laterizio tipo standard, prodotto per estrusione di argilla.....	118
Illustrazione 62: Pannelli in EPS tipo standard.....	119
Illustrazione 63: scatola di derivazione tipo standard.....	120
Illustrazione 64: Schema baricentrico tipo di un corpo con oggetto.....	121
Illustrazione 65: render modulo 1 lampadario.....	124
Illustrazione 66: render modulo 1 lampadario, in un blocco o in due blocchi.....	125
Illustrazione 67: render vista dal basso del modulo 1.....	126
Illustrazione 68: render modulo 2 in due blocchi.....	127
Illustrazione 69: render modulo 3.....	128
Illustrazione 70: render modulo 4.....	130
Illustrazione 71: variante con cupola del modulo 1, di difficile ma non impossibile realizzazione con stampa 3d per argilla.....	131
Illustrazione 72: vista frontale del sistema parete con i moduli del sistema progettato.....	132
Illustrazione 73: vista prospettica render del sistema parete.....	132
Illustrazione 74: vista frontale del sistema parete progettato.....	133
Illustrazione 75: vista dall'alto del sistema parete.....	133
Illustrazione 76: fotomontaggio del sistema parete durante il cantiere.....	133
Illustrazione 77: processo di impasto ed estrusione di argilla, dopo estrazione del materiale direttamente in loco, oggetto di realizzazione di un progetto wasp in Marocco.....	136
Illustrazione 78: Stampante wasp 40/70 delta.....	137
Illustrazione 79: Processo di stampa 3d del modulo 1 con wasp 40/70.....	137
Illustrazione 80: Prototipo del modulo 1 realizzato in due sub-componenti, durante il processo di essiccazione.....	138
Illustrazione 81: Prototipo del modulo 1 dopo essiccazione e cottura, ed altri moduli realizzati dal Più Lab del Politecnico di Milano.....	139
Illustrazione 82: Secondo prototipo realizzato del modulo 1, in particolare con i due sub-componenti realizzati ed assemblati, ivi compreso lo strato coibente.....	139
Illustrazione 83: vista frontale del secondo prototipo realizzato.....	140
Illustrazione 84: vista superiore del secondo prototipo realizzato.....	140
Illustrazione 85: primo prototipo per test dopo rettifica, vista superiore.....	149
Illustrazione 86: primo prototipo realizzato dopo rettifica, vista inferiore.....	149
Illustrazione 87: posizionamento del prototipo 1 nella pressa idraulica con materiale di cartone interposto.....	150
Illustrazione 88: Altra vista della medesima operazione sovrastante.....	150
Illustrazione 89: appunti durante la fase di rilievo del prototipo 1 secondo norma EN UNI 772-16 di riferimento per il rilievo dimensionale.....	151
Illustrazione 90: Prova di carico a compressione per i carichi verticali.....	153
Illustrazione 91: Particolare che evidenzia l'adesione nella sola porzione con cartone interposto.....	153
Illustrazione 92: Pressa idraulica marca Galdabini, degli anni '60 utilizzata per le prove di carico.....	154
Illustrazione 93: Prototipo 1 frantumato dopo la prova di carico.....	155
Illustrazione 94: Prototipo 1 frantumato dopo la prova di carico, altra vista.....	155
Illustrazione 95: pesatura su bilancia elettronica e scrittura dei valori su report cartaceo.....	161
Illustrazione 96: il sistema permette una pesata idrostatica ovvero con il campione completamente immerso in acqua.....	161
Illustrazione 97: preparazione del primo allestimento.....	162
Illustrazione 98: preparazione del primo allestimento con operatore.....	162
Illustrazione 99: rilevatura del peso a secco dopo opportuna essiccazione in forno a 105 °.....	167
Illustrazione 100: inserimento del campione in vasca con livello di acqua costante tramite supporto di appoggio.....	167
Illustrazione 101: fase di controllo con il cronometro.....	168

## Indice delle tabelle

Tabella 1: Tabella esigenze, requisiti, prestazioni tra architettura e digital fabrication.....	42
Tabella 2: loading rate.....	103
Tabella 3: rapporto h/d.....	105
Tabella 4: allegato normativo b della norma en uni .....	105

## Indice delle tavole

Tavola 1.....	pag 136
Tavola 2.....	pag 137
Tavola 3.....	pag 138
Tavola 4.....	pag 139
Tavola 5.....	pag 140
Tavola 6.....	pag 141
Tavola 7.....	pag 142
Tavola 8.....	pag 143
Tavola 9.....	pag 144
Tavola 10.....	pag 145
Tavola 11.....	pag 146
Tavola 12.....	pag 147
Tavola 13.....	pag 148
Tavola 14.....	pag 149

## **Abstract:**

Questa tesi si basa sull'analisi preliminare dello scenario architettonico italiano<sup>1</sup>, in relazione a:

- Processi di innovazioni tecnologica, della fabbricazione digitale e delle nuove modalità di progettazione parametrica e o generativa.
- Alla crescente cultura e diffusione del movimento makers, Fab Lab e DIY.
- Permanente crisi immobiliare del panorama edilizio italiano.

Lo scenario contemporaneo italiano offre infatti sia nuove prospettive, in sintonia con le innovazioni produttive, progettuali e tecnologiche che in tutto il globo stanno avvenendo nel settore delle costruzioni, sia momenti di riflessioni sulla necessità di conservare e valorizzare, le ideologie progettuali, il costruito, l'archetipicità dei materiali da costruzione, in una parola la cultura del cantiere e del progetto italiano.

Con queste premesse si è inteso progettare, prototipare e testare un manufatto, un componente edilizio, che materializzasse in un prodotto innovativo le varie istanze lungamente analizzate in precedenza, secondo una nuova logica di processo. Ne è emersa un'indagine sul tema della fabbricazione digitale nello scenario italiano attraverso un'applicazione prototipale ed una successiva verifica sperimentale. Si è optato per la realizzazione di un manufatto realizzato con la prototipazione rapida in stampa 3d di argilla, successivamente essiccato, cotto e testato. Per far questo, si è esposto lo scenario italiano da un punto di vista produttivo e di cantiere, dei suoi sviluppi e delle innovazioni in atto ed in arrivo. Si è introdotto inoltre il tema della fabbricazione digitale, nelle relazioni con l'architettura e si è altresì esposto un elenco di casi studio col fine di rendere il più esaustivo possibile un atto di comprensione e presa di consapevolezza rispetto alle dinamiche in corso tra innovazione e tradizione, in architettura e tecnologie di fabbricazione digitale. Nell'ultima parte si è esposto il progetto, si è documentata la realizzazione del prototipo, ed in seguito si sono documentati 3 test significativi<sup>2</sup> sul prototipo, per comprendere la validità strutturale e di comportamento idrico dello stesso. Nelle conclusioni si sono presi in esame sia aspetti qualitativi che quantitativi della sperimentazione, andando a definire quali settori o applicazioni chiave possano essere percorse dall'utilizzo del processo produttivo ed applicativo esposto ovvero di stampa 3d per argilla in edilizia e architettura.

---

1 Con relativa contestualizzazione storica e allo stesso tempo globalizzata, tra istanze di innovazione tecnologiche e di cantiere e tra istanze conservatrici, rispetto ai valori di tradizione e continuità con la tradizione costruttiva e progettuale

2 secondo le linee guida delle normative EN UNI



## **Abstract (English):**

This thesis is based on preliminary architectural Italian scenario, in relation to:

- Processes of technological innovations, the digital fabrication and new methods of parametric or generative design.
- At increasing culture and spread of the movement makers, Fab Lab and DIY.
- Permanent housing crisis of the panorama Italian building.

The scenario offers contemporary Italian new perspectives, in tune with the product innovations, design and technological and around the globe are taking place in the construction industry, both moments of reflection on the need to preserve and enhance, ideologies design, the built, the archetype of construction materials, in a word, the culture of the Italian project.

With these premises it is intended to design, prototype, and test an artifact, a building component, which materialize in an innovative product the various instances long analyzed above, according to a new process logic. What emerged was a 'survey on the topic of digital fabrication on the Italian market through an application prototype and a subsequent experimental verification. Was chosen for the realization of a product made with rapid prototyping in print 3d clay, subsequently dried, cooked and tested. To do this, it is exposed the Italian scenario from a production point of view and construction yard, its developments and innovations for the present and for the future. It has also introduced the theme of digital fabrication, in relations with the architecture and has also exposed a list of case studies with the aim to make it as comprehensive as possible an act of understanding and grasp of awareness of the dynamics going on between innovation and tradition in architecture and digital fabrication technologies. In the last part, the thesis has exposed the project, has documented the construction of the prototype, and then it has documented the 3 tests on the prototype, to understand the validity for structural and water resistance. The conclusions are taken into consideration both qualitative and quantitative aspects of the trial, going to define what field or key applications can be covered by the use of the custom-production process and application for 3d printing clay, in construction and architecture.

## **La rivoluzione della fabbricazione digitale, come costruire quasi tutto:**

La rivoluzione digitale è in arrivo, questa volta nella fabbricazione! Queste sono le parole di Neil Gershenfeld ,professore presso il Massachusetts Institute of Technology nonché direttore del Centro del MIT per Bit e Atomi . Questa rivoluzione attinge dalle stesse intuizioni che hanno portato le digitalizzazioni precedenti, come la comunicazione e quella di calcolo elettronico ad espandersi ma la differenza oggi è che si sta programmando il mondo fisico piuttosto che quello virtuale . La fabbricazione digitale consentirà ai singoli individui di progettare e produrre oggetti tangibili su richiesta , quando e dove ne avranno bisogno. La rivoluzione di questo processo consiste nel fatto che saranno i bit ovvero i dati a viaggiare rispetto alle merci mentre le produzioni potranno essere non più delocalizzate in ristrette aree del pianeta ma diffuse su tutto il globo, ove necessario. L'accesso diffuso a queste tecnologie sfiderà i modelli di business tradizionali , così come il mondo della ricerca e dell'istruzione ne potranno trarre beneficio. Wikipedia definisce in questo modo, i termini la fabbricazione digitale: *"La parola Fabbricazione digitale (o Digital Fabrication, o fabbing) fa riferimento al processo attraverso cui è possibile creare oggetti solidi e tridimensionali partendo da disegni digitali. Questo processo, utilizzato ampiamente in manifattura per la creazione rapida di modelli e prototipi, può sfruttare diverse tecniche di fabbricazione sia additive (come la stampa 3d), sia sottrattive come il taglio laser e la fresatura."*

E prosegue dicendo: *" In generale, le macchine utilizzate per la fabbricazione digitale.."* *"..si caratterizzano per la facilità di utilizzo ed il costo relativamente contenuto; questi elementi, insieme alla diffusione di software per la progettazione e modellazione di semplice utilizzo, hanno portato diversi osservatori italiani e internazionali a prevedere la diffusione del fabbing anche verso un'utenza non professionale (The Economist, l'Espresso). Questo fenomeno, definito "Personal Fabrication", è alimentato anche dalla nascita di community in cui i disegni digitali vengono condivisi e messi a disposizione gratuitamente dagli utenti, nonché da servizi che consentono di accedere ad alcune tecnologie di Digital Fabrication direttamente online o ancora da community che interscambiano esperienze nella creazione di prototipi o manufatti digitali."*

(Fonte: [http://it.wikipedia.org/wiki/Fabbricazione\\_digitale](http://it.wikipedia.org/wiki/Fabbricazione_digitale))

L'autore / gli autori di questo contributo su Wikipedia espongono in modo sintetico ma esaustivo i concetti chiave di fabbricazione digitale oggi, anno 2014. Esponendoli ulteriormente per punti, si potrebbero riassumere così:

1)La fabbricazione digitale si basa su tecnologie per la produzione di oggetti 2d-3d (valutando per 2d oggetti di ridotto spessore, un esempio tipico i laminati), attraverso processi di addizione materiale o di sottrazione materiale. Addizione e sottrazione possono generare infiniti valori in ambito matematico, analogamente nel campo della fabbricazione digitale, questo si può esprimere in infiniti valori di forma.

2) Gli oggetti vengono creati grazie a macchine che elaborano un disegno digitale, per fabbricare oggi è quindi altrettanto utile il file (inteso come dato) oltre che la tecnologia ovvero la macchina a controllo numerico per produrre gli oggetti.

3) Oggi file di disegni digitali (dati) e tecnologie per produrre digitalmente stanno diventando sempre più facili nell'utilizzo ed i costi sono sempre più contenuti (i file possono viaggiare inoltre molto più velocemente delle merci).

4) Oltre alle tecnologie per produrre in modo accessibile e alla totale agilità nel reperire o produrre file di disegni digitali (anche gratuiti), oggi interviene anche il fattore sociale. Stanno nascendo e si sono consolidate realtà che operano intorno alla fabbricazione digitale, siano queste virtuali o fisiche. Oggi si parla di community intorno a questo tema perché oltre ad essere in discussione ed in cambiamento il modello dei mezzi di produzione rispetto alla massa (verso mezzi di produzione democraticizzati), sta intervenendo anche un fattore chiave per quanto riguarda anche il modello di apprendimento e conoscenza che è alla base di ogni oggetto o progetto. Sia il *networking* in questo senso che la filosofia *open source* stanno offrendo altri punti di vista sugli aspetti legati al problem solving, la proprietà intellettuale, lo sfruttamento economico o l'etica, per citarne solo alcuni.

Quello che emerge da questo breve riassunto, basato sulla definizione di Wikipedia, è in qualche modo straordinario. Quello che potrebbe accadere, se prenderà piede questo cambiamento a livello globale, per aspetti legati alla produzione di merci, allo scambio di dati e alla socializzazione attorno a temi progettuali, può essere inteso come una terza rivoluzione industriale.

Quello che sottende questo nuovo modello di sviluppo produttivo è che potrebbero non essere più le merci a viaggiare tra continente e continente, tra stato e stato, tra regione e regione, potrebbero essere invece i dati a farlo. Potrebbero essere i dati a viaggiare, e le merci potrebbero essere realizzate in centri dotati di macchinari per la fabbricazione digitale



*Illustrazione 1: Banco da lavoro di un fab Lab*

## **I luoghi fisici per l'innovazione di prodotto, processo o servizio:**

La fabbricazione digitale è nata da differenti anni o decenni ma solo attualmente sta ampliando il pubblico dei suoi utilizzatori, in modo esponenziale. Oggi infatti sono nati i Fab Lab, i maker space, gli hacker space ed i tech shop ovvero dei luoghi fisici in cui i makers possano sperimentare, prototipare e creare attraverso la fabbricazione digitale. Questi luoghi sono dotati usualmente almeno di tecnologie per la fabbricazione digitale e nascono con scopi differenti ma accomunati da un filo rosso ovvero fare innovazione dai bit verso gli atomi o viceversa. Lo scopo quindi di queste botteghe contemporanee è quello di fare educazione e divulgazione dell'innovazione tecnologica e alla fabbricazione digitale e di creare innovazione di prodotto o supporto ad essa, in modo sempre più incisivo. La peculiarità di questi luoghi è quella di poter creare un libero accesso alle comunità crescenti di makers (termine trasversale che può includere differenti tipologie di professionisti con differenti know how) ai tools ovvero le macchine a controllo numerico e di mettere in rete tra loro i reciproci know how. Questo mix di ingredienti è la ricetta contemporanea per creare innovazione di prodotto al di fuori di centri di ricerca convenzionali, unendo design thinking ovvero ideazione, fabbricazione digitale ovvero i tools ed il know how dei makers ovvero il network. Il maggiore sviluppo di questi luoghi fisici è costituito dai fab labs oggi:

FabLab (Fabrication Laboratories), sono i luoghi dove è possibile costruire (quasi) qualsiasi cosa. Sono laboratori di scala ridotta che offrono tutti gli strumenti necessari per realizzare progetti di digital fabrication: cioè, tutte quelle attività che coinvolgono la trasformazione di dati in oggetti reali e viceversa. Da un disegno CAD è possibile fabbricare un oggetto, mentre per il passaggio inverso occorre uno scanner 3D che converta forme tridimensionali in dati modificabili ed esportabili da computer a computer, anche attraverso Internet. I macchinari a disposizione di un FabLab sono vari e comprendono: stampanti 3D, frese a controllo numerico (CNC), laser cutter, materie prime di ogni tipo, schede elettroniche e microprocessori (come Arduino). Tutto è iniziato negli Stati Uniti. La Digital Fabrication è il fulcro centrale del lavoro svolto presso il Center for Bits and Atoms, una struttura del Massachusetts Institute of Technology (MIT) nata nel 2001. In origine si trattava di un corso di studio rivolto agli studenti dal titolo "How to Make (almost) Anything" coordinato da Neil Gershenfeld, professore del MIT interessato agli aspetti interdisciplinari di informatica e fisica. Dopo il successo del primo anno, il CBA decide di ampliare il progetto inaugurando un laboratorio grazie al supporto della National Science Foundation. A seguito di un investimento di 50mila dollari di attrezzature e 20mila dollari di materiali, nasce il primo FabLab della storia presso il South End Technology Center di Boston. Nel 2004 nasce il secondo FabLab, questa volta a Sekondi-Takoradi, in Ghana. Nel giro di pochi anni il fenomeno si espande a macchia d'olio in tutto il mondo. Ad oggi esistono più di 200 Fab Lab che aderiscono almeno in parte alle linee guida del CBA. I centri operativi sono circa un centinaio e rappresentano realtà affermate da anni, mentre gli altri sono progetti ancora in fase di sviluppo. Nonostante siano dei laboratori ad alto contenuto tecnologico, i FabLab si basano sulle persone prima che sulle macchine. Condividere idee, progetti e know-how è il fulcro dei centri di manifattura digitale. L'obiettivo è quello di rendere ogni persona consapevole del fatto di essere un maker/fabber, un creativo in grado di trasformare una qualsiasi idea in un oggetto o prodotto concreto. Per aiutare la diffusione della cultura



maker/fabber, i FabLab dedicano i propri spazi e attrezzature all'organizzazione di corsi, sedute di mentoring e servizi di assistenza rivolti a curiosi, inventori, piccole imprese e liberi professionisti. Inoltre, alcuni FabLab partecipano attivamente a Fab Academy, un corso a distanza di 5 mesi tenuto da Gershenfeld. In aggiunta alle lezioni frontali, i FabLab offrono i propri spazi agli studenti e permettono loro di realizzare oggetti concreti. A fronte di ciò, la costituzione di ogni FabLab è regolata da quattro caratteristiche fondamentali:

1. **Accesso pubblico:** democratizzare l'accesso da parte del pubblico alle tecnologie di fabbricazione digitale. Un FabLab deve perciò garantire a tutti la fruizione costante di open day gratuiti.
2. **Sottoscrizione della FabLab Charter:** ogni FabLab deve aderire e supportare i punti elencati nel manifesto originale del CBA. La copia della Carta deve essere esposta sul sito Web e all'interno del FabLab stesso.
3. **Strumenti condivisi:** i FabLab fruiscono di set comuni di strumenti e processi produttivi con lo scopo di dividerne le pratiche di utilizzo. La scelta ricade soprattutto su software e hardware open source.
4. **Collaborazione senza confini:** i FabLab fanno parte di un network globale e non possono vivere isolati. La condivisione globale di saperi, design, processi, idee e prototipi è l'elemento chiave che unisce tutte le persone partecipanti.

La missione dei FabLab è fornire a cittadini e piccole imprese gli strumenti e le competenze per muoversi nel mondo della digital fabrication. Oltre a ciò, la democratizzazione dell'accesso alle tecnologie, la diffusione di software/hardware libero può aiutare la gemmazione di nuove imprese e progetti creativi. Alcuni Paesi, tra cui gli Stati Uniti, stanno valutando nuovi programmi di investimento per favorire la nascita di nuovi FabLab sul proprio territorio. Nello specifico, l'amministrazione Obama ha proposto nel 2012 di investire un miliardo di dollari per innovare il sistema manifatturiero nazionale. Tra le proposte avanzate spicca anche la valorizzazione di stampa 3D e digital design. Molta attenzione viene rivolta anche al settore dell'educazione, per il quale gli Stati Uniti hanno lanciato un programma chiamato Mentor maker space. La prima fase sperimentale prevede l'installazione di laboratori di fabbricazione digitale in 10 scuole superiori californiane, ma l'obiettivo finale mira a coinvolgere ben 1000 istituti. Infine, il Congresso USA si è interessato al vaglio del National Fab Lab Network Act, un testo di legge che pone le basi per creare un network di FabLab nazionale. L'obiettivo è quello di creare almeno un laboratorio tecnologico per ogni 700mila abitanti. Neil Gershenfeld: fisico e informatico statunitense, dirige il Center for Bits and Atoms presso il MIT. È tra gli ideatori del primo FabLab, il laboratorio di fabbricazione digitale che oggi conta una rete con più di 100 realtà affiliate. È direttore della Fab Academy e nel febbraio 2006 ha tenuto una Ted conference sul fenomeno dei FabLab. Tra le sue principali pubblicazioni

va ricordato "Fab: The Coming Revolution on Your Desktop". Scientific American lo ha inserito nella sua classifica dei 50 migliori research leader del 2004. *"Digital fabrication consists of much more than 3D printing. It is an evolving suite of capabilities to turn data into things and things into data. Many years of research remain to complete this vision, but the revolution is already well under way. The collective challenge is to answer the central question it poses: How will we live, learn, work, and play when anyone can make anything, anywhere?"*



*Illustrazione 2: Logo-pittogramma dei fab lab internazionalmente riconosciuto*



*Illustrazione 3: Maker space con maker al lavoro*

# **Tecnologie di fabbricazione digitale**

## **Le principali tecnologie di fabbricazione digitale:**

Le principali tecnologie di fabbricazione digitale si distinguono in additive e sottrattive.

Tra le additive si annoverano:

- Stampante 3d FDM, per stampare PLA, ABS, Nylon, argilla, calcestruzzo, inchiostri conduttori di elettricità, siliconi, fanghi lapidei con resine, etc..
- Stampante 3d DLP, per stampare tramite un proiettore DLP ed un liquido di supporto
- Stampante 3d SLS, per stampare sinterizzando con un laser
- Stampante 3d DMLS per stampare metalli sinterizzando con un laser

Tra le sottrattive si annoverano:

- Taglio laser, per tagliare lastre o pannelli,tra cui: metalli, plastiche, mdf, cartoncini vegetali etc..
- Taglio al plasma, per tagliare metalli
- Fresa o pantografo cnc, per fresare legno, alluminio, metalli, materiale lapideo, etc..
- Taglio vinilico, per tagliare cartoncini, tessuti o fogli
- Taglio a idrogetto, per tagliare materiale lapideo, legno, metalli etc. (senza produzione di calore)
- Tornio cnc, per sagomare o sottrarre materiale tramite il processo di rivoluzione intorno ad un asse

Oltre a queste le additive e le sottrattive ci sono altre tecnologie digitali, che permettono la scansione di un oggetto:

- Scanner 3d, per rilevare nello spazio oggetti e restituirli in modelli virtuali in scala

La realizzazione di intelligenza distribuita negli oggetti:

- elettronica open source

La realizzazione di robot in grado di modificare lo spazio fisico:

- robotica.

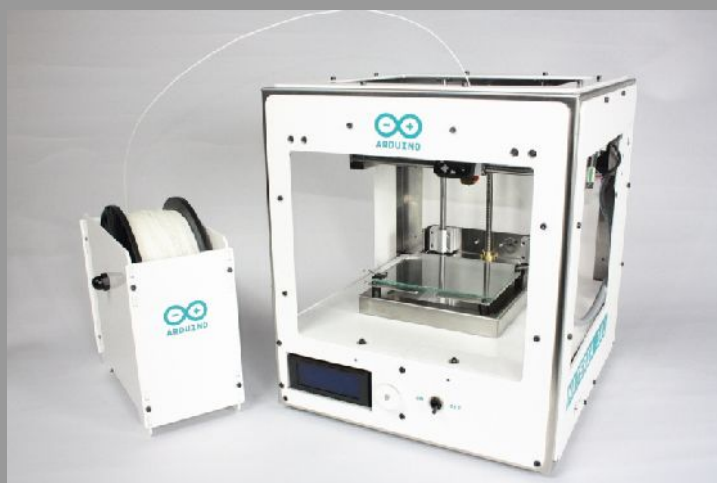


## Inquadramento tecnologico:

### La stampa 3d:

Quando verso la metà degli anni '80 cominciarono a circolare i primi macchinari per la stampa 3D, pochi erano pronti a scommettere che quella tecnologia avesse qualche chance di guidare una vera e propria rivoluzione in ambito manifatturiero. Al tempo l'unica tecnica disponibile era la stereolitografia, che consisteva appunto nello stampare strati di fotopolimeri modellati attraverso l'utilizzo di luce ultravioletta e via via sovrapposti a formare la riproduzione più o meno fedele di un oggetto tridimensionale. Si trattava di un processo lento e costoso (un macchinario poteva arrivare a costare anche 500mila dollari) e dunque poco appetibile per un'applicazione su vasta scala. A quasi trent'anni di distanza la situazione è drasticamente cambiata. Il costo dei macchinari nel corso degli anni è letteralmente crollato, al punto che da più di 10 anni molte aziende sfruttano la stampa 3D per costruire prototipi tridimensionali in materiale plastico senza dover attivare un intero processo di produzione ad hoc. Ma è solo negli ultimi anni che i macchinari per la stampa tridimensionale hanno raggiunto costi talmente bassi da consentire una potenziale diffusione a livello domestico. Basti pensare che esistono compagnie come MakerBot che hanno già messo in vendita stampanti 3D di piccole dimensioni il cui prezzo non supera i mille euro (alcune addirittura si spingono sotto i 500).

Certo, il concetto alla base della stampa 3D è interessante: costruisci un modello tridimensionale sullo schermo del tuo computer e ordini alla stampante di utilizzarlo per forgiare una riproduzione reale in materiale plastico. Ma come potrà una simile tecnologia rivoluzionare il settore manifatturiero? Prima di rispondere a questa domanda, è il caso di entrare un poco nel dettaglio. Le tecniche: il concetto di manifattura additivaLa maggior parte dei macchinari per la stampa 3D sfrutta una tecnica produttiva meglio conosciuta come manifattura additiva: l'oggetto desiderato viene modellato stampando uno strato alla volta e sovrapponendolo a quelli già stampati. Per fare ciò si può procedere in diversi modi. Le stampanti 3D a sinterizzazione laser creano l'oggetto riscaldando tramite laser delle polveri metalliche o termoplastiche e compattandole in una posizione specifica strato dopo strato. Nella modellazione a deposizione fusa viene utilizzato un ugello riscaldato che fonde il materiale di fabbricazione e lo depone tridimensionalmente in modo da riprodurre il modello 3D a schermo. Esistono poi altre tecniche utilizzate prevalentemente in ambito industriale, come ad esempio il Laminated Object Manufacturing, che consiste nell'impilare strati sottili di materiale che volta per volta vengono incisi mediante laser.



*Illustrazione 4: Stampante 3d Sharebot in collaborazione con Arduino*

## Focus Architettonico:

### La stampa 3d per l'architettura, il caso Arup:

Utilizzando le più recenti tecniche di stampa 3D, o più precisamente di manifattura additiva SLS (Selective Laser Sintering di polveri metalliche) il team Arup ha realizzato un metodo di progettazione per gli elementi strutturali in acciaio critici per l'utilizzo in progetti complessi. Questo lavoro di ricerca apre la strada a nuovi impieghi della manifattura additiva nel campo delle costruzioni e dell'ingegneria. La ricerca mostra anche che la stampa 3D ha il potenziale per ridurre i costi, ridurre gli sprechi e ridurre drasticamente l'impatto ambientale del settore delle costruzioni.

Il pezzo rientra nel progetto più complesso del ponte Kurilpa in Australia. Per il progetto è stato riprogettato un nodo acciaio per una struttura leggera realizzata con una stampante 3D a polveri metalliche sinterizzate. "Utilizzando la stampa 3D possiamo creare una grande quantità di pezzi complessi, disegnati singolarmente, in modo molto più efficiente. Ciò ha importanti implicazioni per ridurre i costi e i residui di taglio ma, soprattutto, questo approccio potenzialmente permette un design molto sofisticato senza la necessità di semplificare il disegno in una fase successiva per abbassare i costi." afferma Salomé Galjaard, Team Leader, Arup.

E' da notare come siano stati utilizzati reticoli e strutture per gestire le forze nel modo corretto, senza impiegare più materiale del necessario. I pezzi risultano quindi più leggeri. La striatura orizzontale è conseguenza del processo di stampa a strati. Arup ha finanziato il lavoro di sviluppo e ha collaborato con una serie di partner per realizzare i progetti, tra cui WithinLab (una società che sviluppa software di progettazione e fa consulenza), CRDM/3D Systems (partner Additive Manufacturing) ed EOS, che ha lavorato sullo sviluppo precoce del tecnologia. I pezzi prodotti non sono in grado di sopportare ancora lo sforzo di una struttura reale dato che le polveri metalliche sinterizzate non sono sufficientemente robuste, ma la ricerca nei materiali e nelle tecnologie di stampa 3D sta proprio sviluppando le soluzioni necessarie a superare questo scoglio, mentre le normative per la certificazione delle parti metalliche stampate in 3D sono in fase avanzata di definizione da parte di vari organi.



*Illustrazione 5: Varie fotografie del prototipo realizzato, è stato realizzato un design parametrico generativo con i vincoli geometrici imposti dal progetto strutturale*

## **Inquadramento tecnologico:**

### **Il taglio laser:**

Il taglio laser è un processo termico in cui una sorgente di calore (fascio laser) fonde un materiale e un getto di gas (gas di assistenza) lo elimina rapidamente. Grazie alla elevata precisione di taglio (kerf ridotto) del fascio laser e all'alta purezza dei gas di assistenza impiegati, si ottiene un taglio netto, privo di bavette, lucido, a bassissima rugosità e di alta precisione geometrica. L'impiego del LASER a CO<sub>2</sub> per le operazioni di taglio è oggi molto diffuso tra i produttori di pezzi stampati. Grazie ad una straordinaria combinazione di caratteristiche, il taglio a LASER fornisce risultati eccellenti con le lamiere sottili. Finezza della linea di incisione, conseguente riduzione dell'apporto termico e deformazione minima rendono tale tecnica insuperabile in questo settore. A ciò si aggiunge la possibilità di ottenere superfici lavorate di assoluta precisione. Per tale motivo i pezzi realizzati con il LASER non richiedono in genere trattamenti di finitura. Il taglio a LASER è quindi il complemento ideale al taglio al cannello e al plasma. In campo industriale viene attualmente utilizzato esclusivamente il LASER a CO<sub>2</sub>, in quanto decisamente superiore a tutti gli altri tipi di LASER, grazie alla sua potenza specifica in proporzione più elevata. Con la tecnica a LASER è possibile tagliare quasi tutti i metalli ed anche materiali non metallici, come la plastica, il legno e la ceramica. È un procedimento automatico. Al variare della tipologia di sorgente laser utilizzata e della potenza laser impiegata è possibile tagliare una vasta gamma di materiali e spessori. Di seguito diamo un esempio della varietà di materiali, metallici e non, che è possibile lavorare con i sistemi laser anche se la lista non sarà esaustiva ma in continua variazione a seconda delle innovazioni tecniche apportate alle sorgenti laser nel corso del tempo. I gas di assistenza normalmente utilizzati nei sistemi LASER ad alta potenza sono due: l'ossigeno e l'azoto. A seconda del tipo di materiale, spessore e grado di finitura voluto si può scegliere di utilizzare una o l'altra tecnologia di taglio.

#### Taglio laser per combustione:

Nel taglio di materiali ferrosi si utilizza il taglio per combustione che impiega come gas di assistenza l'ossigeno. Tale taglio viene anche chiamato esotermico perché le molecole di ossigeno reagiscono chimicamente con il materiale con cui vengono a contatto liberando un'energia equivalente a quella del fascio LASER. Inoltre nel taglio per combustione si riduce la temperatura di fusione superficiale del materiale rispetto a quella del ferro puro. Entrambi questi effetti facilitano quindi il taglio di un materiale ferroso dato che si ha a disposizione un ammontare di energia alquanto superiore rispetto a quello impiegato nel taglio in azoto e si riesce ad abbassare la temperatura di fusione del materiale raggiungendo così prima le condizioni termiche ideali per il taglio. Da qui risulta più chiaro il motivo per cui il taglio con assistenza di ossigeno viene chiamato «per combustione»; infatti, il ruolo di questo gas è proprio quello di un comburente per un processo che libera un'energia termica aggiuntiva rispetto quella già fornita dal fascio LASER. Questo calore aggiuntivo permette di tagliare materiali ferrosi anche di grosso spessore usando potenze del fascio LASER ridotte rispetto a quelle utilizzate nel taglio per fusione in azoto. Sugli impianti laser la purezza dell'ossigeno influenza significativamente le velocità e la qualità del taglio. È consigliabile quindi utilizzare come gas di assistenza ossigeno ad alta purezza: titolo N35 o superiore.

#### Taglio laser per fusione:

Il gas di assistenza impiegato nel taglio per fusione è di solito un gas inerte, come l'azoto, erogato ad alta pressione nel solco di taglio creato nel materiale da un fascio LASER ad alta potenza. Il materiale fuso viene così rapidamente rimosso dal gas rendendo il taglio lucido, di colorazione chiara e privo di ossidi. La mancanza di ossidi sul

bordo di taglio rende il pezzo particolarmente adatto a subire successive lavorazioni di verniciatura o cromatura. Per questo motivo, spesso, si preferisce tagliare in azoto anche l'acciaio al carbonio (normalmente tagliato in ossigeno). Il taglio per fusione si usa anche nella lavorazione di acciai inossidabili, zincati e leghe di alluminio. Per rendere il processo di espulsione del materiale fuso più efficiente, il fascio LASER viene focalizzato all'interno del materiale o addirittura al di sotto. In questo modo le pareti del solco di taglio risultano inclinate e facilitano il convogliamento del gas di assistenza. All'aumentare della potenza delle sorgenti laser in commercio aumenta conseguentemente anche il massimo spessore tagliabile. Nel taglio in azoto si richiedono quindi pressioni e portate sempre più elevate per ottenere una efficiente espulsione del materiale fuso dal solco di taglio anche negli spessori più elevati. Dato l'elevato consumo di azoto, generalmente gli impianti laser vengono alimentati con serbatoi criogenici a 35 bar in grado di erogare in continua una portata e una pressione elevata del gas di assistenza.



*Illustrazione 6: sorgente laser durante il processo di taglio di una lamiera*



## Focus Architettonico:

### Taglio laser per l'architettura, il caso Dex show room:

L'edificio, commissionato da DEX S.p.a e progettato dallo Studio 63 di Firenze si trova nella zona industriale a Nord di Firenze, una piana costellata di capannoni privi di identità e qualità formali e architettoniche chiare. Il progetto riflette la precisa richiesta del committente di estrapolare l'edificio dall'anonimato conferendogli un'identità precisa. L'area di intervento presentava una caratteristica insolita per la zona: un filare di alberi, che è stato fonte d'ispirazione per realizzare un'architettura rassicurante che dialoga col contesto, inserendosi in esso in modo morbido senza però rinunciare ad una forte caratterizzazione. Agendo per contrasto con le architetture circostanti, definite da superfici solide incastonate di insegne e luci al neon, lo show room DEX è stato progettato secondo la logica del silenzio, della smaterializzazione, della presenza-assenza. L'idea guida è quella di inserirsi nel contesto con silenziosa eleganza, confrontandosi con la natura circostante per amplificarne la presenza sulla superficie della facciata principale, costituita da 270 pannelli in metallo forato a laser verniciato di bianco, che riproduce le sagome degli alberi grazie all'effetto pixel creato dal diverso diametro dei fori e dalla diversa distanza tra gli stessi. Questa lavorazione consente alla pelle dell'edificio di cambiare aspetto a seconda sia dell'incidenza della luce diurna esterna, sia della predominanza notturna di quella interna, ponendosi come una quinta impalpabile tra l'esterno e l'interno. Su questa pelle si innesca la lunga vetrata a nastro che svela l'interno, pensato come una galleria d'arte per esporre, accentuando identità e differenze. L'idea guida è quella di inserirsi nel contesto con silenziosa eleganza, confrontandosi con la natura circostante per amplificarne la presenza sulla superficie della facciata principale, costituita da 270 pannelli in metallo forato a laser verniciato di bianco, che riproduce le sagome degli alberi grazie all'effetto pixel creato dal diverso diametro dei fori e dalla diversa distanza tra loro. Questa lavorazione consente alla pelle dell'edificio di cambiare aspetto a seconda sia dell'incidenza della luce diurna esterna, sia della predominanza notturna di quella interna, ponendosi come una quinta impalpabile tra l'esterno e l'interno.



*Illustrazione 7: Fotografia del corpo di fabbrica in oggetto*

## **Inquadramento tecnologico:**

### **Il taglio al plasma:**

Comunemente, possiamo descrivere il plasma come il quarto stato della materia. Normalmente, si pensa che i tre stati della materia siano quello solido, liquido e gassoso. Per un elemento comune, l'acqua, questi tre stati diventano ghiaccio, acqua e vapore. La differenza fra questi tre stati sta nei loro livelli di energia. Quando aggiungiamo energia sotto forma di calore al ghiaccio, quest'ultimo si scioglie e forma acqua. Se aggiungiamo più energia, l'acqua fa evaporare l'idrogeno e ossigeno, sotto forma di vapore. Con una quantità maggiore di energia associata al valore, questi gas si ionizzano. Questo processo di ionizzazione rende il gas elettricamente conduttivo. Questo gas elettricamente conduttivo e ionizzato si chiama plasma. Il processo di taglio plasma, come nel caso del taglio di metalli elettricamente conduttivi, utilizza i gas elettricamente conduttivi per trasferire energia da una fonte di energia elettrica al materiale tagliato, attraverso una torcia di taglio plasma. Il sistema di taglio dell'arco plasma base è composto da un generatore, un circuito di innesco arco e una torcia. Questi componenti del sistema offrono l'energia elettrica, la capacità di ionizzazione e il controllo del processo necessari per realizzare tagli altamente produttivi e di elevata qualità di una varietà di materiali differenti. Il generatore è rappresentato da una fonte di energia CC a corrente costante. In genere, la tensione del circuito aperto rientra nel range fra 240 e 400 VCC. La corrente di taglio (in Ampere) del generatore determina la velocità e la capacità di spessore del taglio del sistema. La funzione principale del generatore è fornire l'energia corretta per mantenere l'arco plasma dopo la ionizzazione. Il circuito di innesco arco è un circuito generatore di alta frequenza che produce una tensione CA che oscilla fra 5.000 e 10.000 volt a circa 2 megahertz. Questa tensione è impiegata per creare un arco di intensità elevata all'interno della torcia per ionizzare il gas, producendo quindi il plasma. La torcia funge da supporto per ugello ed elettrodi dei consumabili e si occupa del raffreddamento (gas o acqua) di queste componenti. L'ugello e gli elettrodi restringono e mantengono il motore a plasma. La fonte di energia e il circuito di innesco arco sono collegati alla torcia attraverso cavi connessi tra di loro. Questi cavi forniscono il flusso del gas, il flusso di corrente elettrica e l'alta frequenza appropriati alla torcia per avviare e mantenere il processo.

I principali tipi di taglio al plasma sono:

#### Taglio del plasma convenzionale:

Questo processo utilizza generalmente un gas singolo (solitamente aria o azoto) che si raffredda e produce il plasma. La maggior parte di questi sistemi raggiunge i 100 A, per il taglio di materiali con uno spessore di 1,6 cm.

#### Taglio plasma a doppio gas:

Questo processo utilizza due gas: uno per il plasma e uno come gas schermo. Il gas schermo è utilizzato per schermare l'area taglio dall'atmosfera, producendo un lato di taglio più pulito. Probabilmente, questa è la variazione più conosciuta, poiché molte diverse combinazioni di gas possono essere utilizzate per ottenere la migliore qualità di taglio possibile su un dato materiale.

#### Taglio plasma con schermo d'acqua:

Questa è una variazione del taglio plasma a doppio gas, in cui l'acqua è sostituita dal gas schermo. Consente un migliore raffreddamento dell'ugello e del pezzo in lavorazione e offre una migliore qualità di taglio su acciaio inossidabile. Questo processo è utilizzato solo per applicazioni meccanizzate.

Taglio plasma a iniezione di acqua:

Questo processo utilizza un gas singolo per il plasma e acqua da iniettare radialmente o a diffusione direttamente nell'arco, per migliorare notevolmente la costrizione dell'arco, favorendo pertanto l'aumento della sua densità e delle temperature. Questo processo è impiegato da 260 a 750 A per un taglio di alta qualità di molti materiali e spessori.

Questo processo è utilizzato solo per applicazioni meccanizzate.

Taglio plasma di precisione:

Questo processo produce una qualità di taglio superiore su materiali più sottili (inferiori a 1,27 cm) a velocità più ridotte. Questa qualità superiore rappresenta il risultato dell'impiego delle ultime tecnologie per la super costrizione dell'arco, aumentando radicalmente la densità energetica. Le velocità inferiori sono richieste per consentire al dispositivo di movimento di segnare contorni più accuratamente. Questo processo è utilizzato solo per applicazioni meccanizzate.



*Illustrazione 8: Processo di taglio al plasma con più sorgenti*



## Focus Architettonico:

### Taglio al plasma per l'architettura, il caso della carpenteria:

Con la tecnologia del taglio al plasma, per certi aspetti equivalente rispetto a quello laser, si possono apportare nel settore delle costruzioni in acciaio, delle significative innovazioni. Si pensi ad esempio alla realizzazione di travi con lavorazioni complesse su ali ed anima. Con il taglio al plasma, sia su lastre metalliche che su semilavorati, come travi e pilastri, c'è la possibilità di realizzare qualsiasi forma geometrica disegnata con un sistema CAD. Il continuo progredire della tecnologia ha permesso oggi di avere macchine per taglio al plasma in grado di lavorare travi con la stessa flessibilità che da anni è già presente su lamiera e tubo. Questo tipo di lavorazione sta trovando impiego sempre più nelle strutture di edilizia con forte impatto architettonico e di design.



*Illustrazione 9: lavorazione di taglio di una trave*



*Illustrazione 10: lavorazione di lastra con plasma a più sorgenti*

## Inquadramento tecnologico:

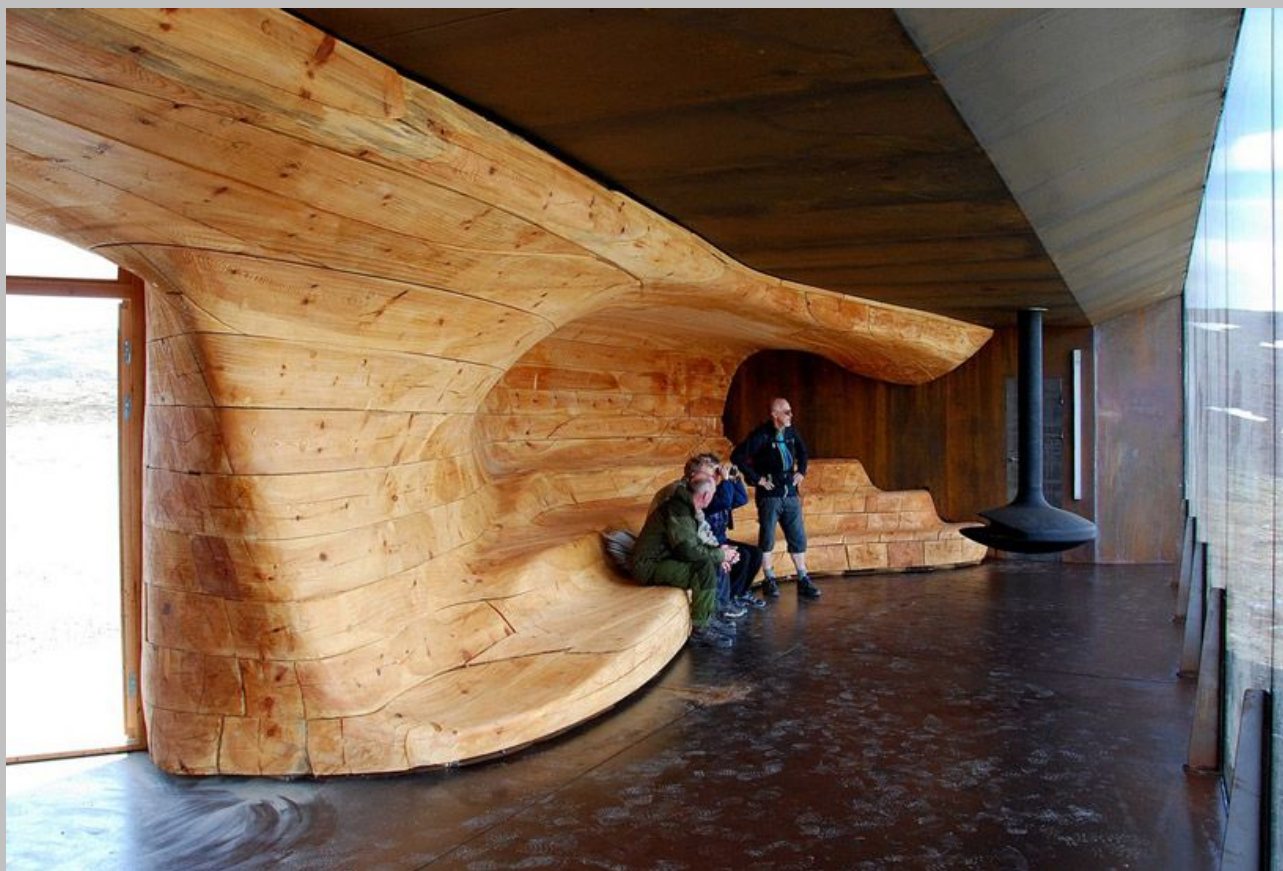
### La Fresa o il pantografo cnc:

La fresatrice è una macchina utensile usata per la lavorazione in forme complesse di parti metalliche o di altri materiali. Spesso viene chiamata anche impropriamente *fresa*, un termine che indicherebbe solo gli utensili da utilizzare su questo tipo di macchine (dal francese *fraise*, fragola, a causa della forma particolare di queste punte). In alcuni casi può anche essere denominata *fresalesatrice*: si tratta di tipi particolari di fresatrice, oggi molto diffusi, in grado di effettuare operazioni di alesatura grazie alla grande precisione nel controllo del movimento e alla stabilità della testa motorizzata. Nella sua forma più semplice una fresatrice non è altro che un motore, solitamente piuttosto potente, su cui è fissato, tramite un mandrino, un utensile dotato di bordi taglienti (*fresa*) che ruotano sull'asse della punta stessa. Il principio è lo stesso del trapano, ma le frese sono progettate per svolgere l'azione di taglio sul lato dell'utensile invece che sulla punta, quindi erodendo il materiale invece che forandolo. Le fresatrici devono essere in grado di spostarsi sulla superficie del pezzo, questo può essere fatto in due modi: Spostando il banco di lavoro su due assi X e Y, ed eventualmente alzando la testa motorizzata lungo l'asse Z oppure lasciando il banco fisso e spostando la testa motorizzata lungo i tre assi. Il primo sistema è il più utilizzato per macchine di piccole dimensioni, mentre per quelle maggiori a più di tre assi, comunemente dette *centri di lavoro*, si usa il secondo metodo. Le fresatrici possono essere controllate manualmente o con sistemi computerizzati: in questo caso la macchina viene definita "a controllo numerico", o "CNC" (computer numerical control). Le fresalesatrici CNC più moderne sono dotate di sistemi automatici per la sostituzione degli utensili, in grado di rendere interamente automatizzato il processo produttivo: questo permette partendo dal materiale grezzo di arrivare ad un pezzo finito anche senza intervento umano, rendendo le lavorazioni più veloci ed economiche. Il pregio principale delle fresatrici è di avere pochissimi limiti di forme realizzabili nelle lavorazioni e di poter svolgere con un solo programma di lavoro diverse operazioni complesse comprendenti forature, rettifiche, alesature, tagli, arrotondamenti. Le fresatrici sono macchine strutturalmente molto solide, perché devono assorbire le notevoli vibrazioni generate dalla testa motorizzata senza permettere a questa di oscillare o scuotersi. Quando si procede a lavorazioni su materiali duri o con velocità molto elevate (che arrivano a decine di migliaia di giri al minuto) si utilizzano liquidi lubrificanti per ottimizzare il raffreddamento della punta e per ridurre gli sforzi. Il lubrificante ha anche la funzione di trattenere le polveri e i trucioli per farli defluire in modo controllato, evitando che aumentino il consumo delle frese o ne intacchino il filo tagliente. I centri di lavoro con 4 o più assi sono indicati per lavorazioni di alta precisione in quanto consentono un minor numero di serraggi pezzo rispetto alle tradizionali frese a 3 assi. Bisogna infatti considerare che ogni volta che si ha necessità di modificare la posizione del pezzo da lavorare si produce un inevitabile perdita di precisione del posizionamento relativo tra le lavorazioni eseguite prima e dopo il cambiamento di posizionamento del pezzo. I centri di lavoro a 4 o più assi consentono invece, proprio in virtù del maggior numero di assi controllati simultaneamente, di completare le lavorazioni necessarie per 3 o più facce contemporaneamente. Nel caso di un centro di lavoro a 5 assi è possibile lavorare fino a 5 facce con un unico serraggio del pezzo, rimanendo naturalmente esclusa dalla lavorazione la faccia utilizzata per lo staffaggio.

## Focus Architettonico:

### La fresa o il pantografo cnc per l'architettura, il caso del padiglione Snohetta's Wild Reindeer Foundation:

Situato nel Parco Nazionale Davrefjell il progetto del rifugio si basa su un contrasto tra un guscio esterno rigido in acciaio stagionato e un nucleo soffice di matrice organica all'interno. La forma semplice del rifugio e l'uso di materiali da costruzione naturali sono stati presi come riferimento alla tradizione costruttiva locale ma allo stesso tempo, le nuove tecnologie sono state utilizzate per portare la moderna efficienza al processo di fabbricazione. L'anima in legno è stata realizzata utilizzando una fresa robotizzata su larga scala basata sulla creazione digitale di un modello cad, poi convertito in azioni gcode per il robot, che ha operato fresando il materiale ligneo. Il progetto mostra tutto il potenziale dell'utilizzo massimo di un materiale come il legno, unito alle caratteristiche di innovazione della modellazione di superfici complesse e della sua materializzazione tramite fresatura. Questo tipo di lavorazione è ad esempio idoneo per applicazioni di interno ma è solo uno dei possibili ambiti di intervento.



*Illustrazione 11: vista interna del manufatto ligneo realizzato con fresatura cnc, partendo da blocchi fresati e poi assemblati in cantiere*



## **Inquadramento tecnologico:**

### **Il plotter da Taglio:**

Alcuni plotter, in cui il pennino o la testina di stampa sono rimpiazzati da una lama pivotante, vengono impiegati per intagliare disegni, scritte e forme su vinile adesivo, solitamente colorato. Possono sagomare anche materiali rifrangenti o termotrasferibili, che vengono successivamente trasferiti su maglie e cappelli. Si parla in questo caso di *plotter da taglio vinile*. Solitamente sono già dotati di programma tipo CutStudio o possono interfacciarsi ad applicativi vettoriali comuni come Corel Draw oppure Illustrator oppure un cad. I plotter a taglio vinile sono molto usati nella grafica pubblicitaria, nell'insegnistica e nella comunicazione. Ad esempio si possono vedere le grafiche degli stand espositivi nelle fiere che si svolgono in varie città. I plotter da taglio a lama possono inoltre tagliare materiali quali tessuti, pelle, spalmati in PVC (ad es teloni per camion) e compositi come la fibra di carbonio. Questo tipo di plotter da taglio multiuso, che può utilizzare diversi tipi di utensile a seconda del materiale da lavorare, è anche denominato "taglio automatico". Le periferiche da incisione, pur basandosi sullo stesso sistema di funzionamento di un plotter, invece della stampa eseguono un'incisione sul materiale, per realizzare targhe, indicatori o cartelli per la comunicazione. In questo caso però parliamo più precisamente di incisori o pantografi computerizzati. Ciò avviene grazie ad un utensile che fisicamente incide il materiale. Gli incisori esistono con diverse aree di lavoro che comunemente vanno da 305x205mm fino a 600x400mm. L'asse d'incisione, chiamato anche asse Z (quelli orizzontali e verticali si chiamano X ed Y) può anche avere una sua escursione in modo che si possa effettuare, oltre all'incisione normale, anche quelle tridimensionale, con la realizzazione di targhe a rilievo. Gli incisori sono equipaggiati di solito con software dedicati tipo Dr. Engrave di Roland DG o simili ma hanno in dotazione anche un driver, in modo da utilizzarli con applicativi vettoriali comuni quali Corel Draw o Adobe Illustrator. I materiali da incidere sono molti ma i più utilizzati sono la plastica, la resina, l'alluminio e l'ottone. Vi sono poi tanti utensili con le forme più diverse, interscambiabili tra di loro a seconda dell'incisione che si vuole realizzare. Vi sono anche incisori in grado di effettuare l'incisione con un raggio laser. Esistono plotter tridimensionali (3D), che eseguono la modellazione del blocco di materiale, asportandone le parti per mezzo di frese, utensili dedicati alla modellazione.



*Illustrazione 12: Tipica fresa a controllo numerico a 3 assi per pannelli*



*Illustrazione 13: Plotter da taglio piano*

## Focus Architettonico:

### Il plotter da taglio per l'architettura, il caso del padiglione Cardboard:

Nell'ambito delle attività didattiche e di ricerca del corso di Tecnologia dell'Architettura della Facoltà di Architettura di Siracusa è stato inaugurato Cardboard Pavilion. Realizzato in scala 1:1 dagli studenti della Facoltà, il Padiglione conclude la prima fase di una ricerca sull'uso innovativo del cartone in architettura. La ricerca, coordinata dal prof. Luigi Alini, è sviluppata in partnership con la International Paper di Catania (azienda leader nella produzione di imballaggi di cartone), il consorzio Comieco e gli architetti Andrea Di Stefano e Aleksandra Jaeschke dello studio Aion di Siracusa. Cardboard Pavilion è uno dei pochissimi esempi di struttura realizzata interamente in cartone ondulato, un'opera innovativa che libera le potenzialità intrinseche di un materiale apparentemente 'debole' restituendocene possibilità inesprese. L'architettura effimera e la città sostenibile sono gli ambiti d'interesse messi a confronto all'interno di questo progetto, che è stato finalizzato alla produzione industrializzata di una struttura temporanea flessibile, accrescibile, personalizzabile, a basso costo, totalmente riciclabile destinata ad accogliere mostre, seminari, convegni. La piega, nella sua accezione fisica e concettuale, è l'elemento generatore del progetto, il principio in base al quale la materia carta si trasforma in materiale da costruzione. Questa tipologia di padiglione, come altri realizzati in giro per il mondo e nello stesso politecnico di Milano, sono l'esempio di come una tecnologia di taglio e piega possa costruire delle strutture modulari complesse. Nello specifico in questo scenario compositivo, il plotter da taglio potrebbe trovare svariati utilizzi sia nella fase di taglio ed incisione, che nella fase di cordonatura, ovvero la pressione impressa al cartone per creare la guida di una successiva piega manuale.



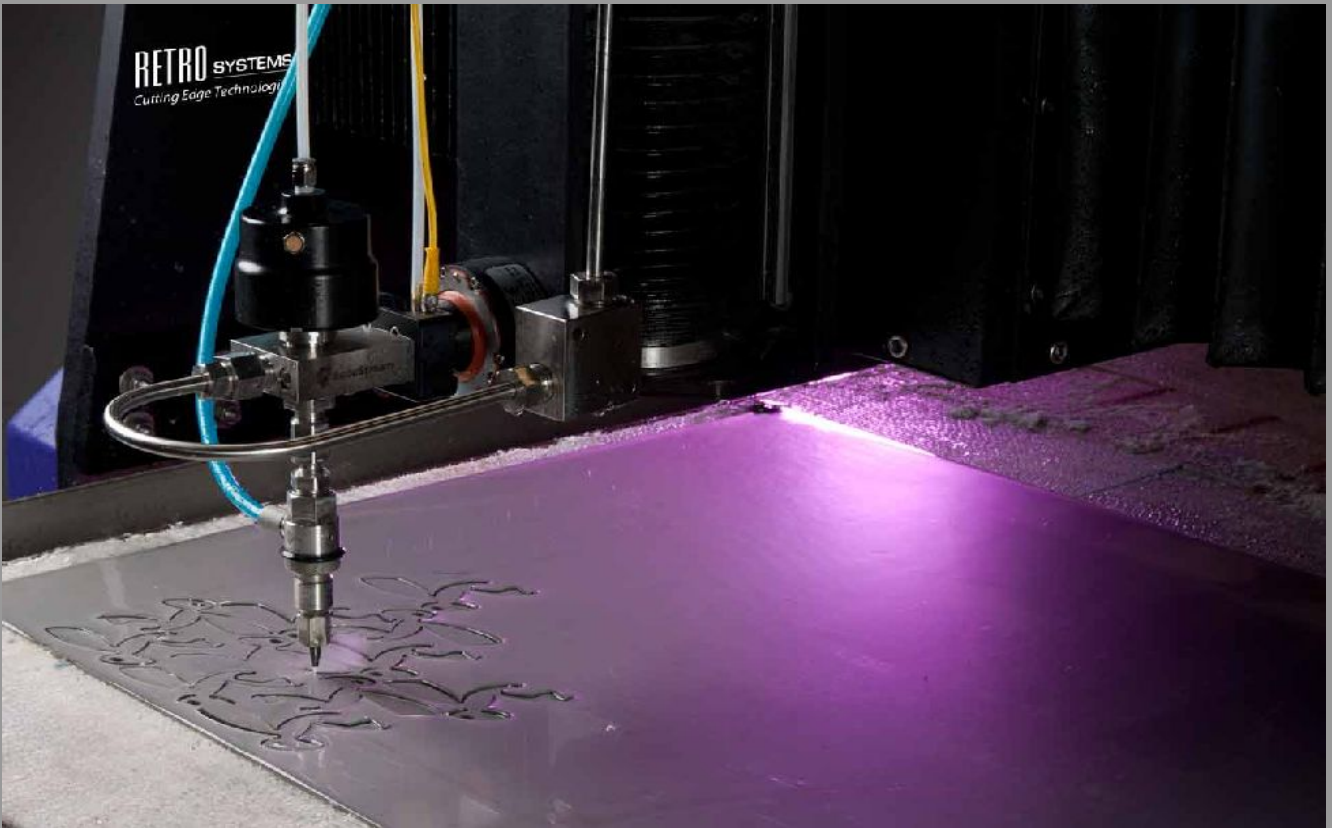
*Illustrazione 14: Il padiglione installato all'esterno*



# Inquadramento tecnologico:

## Il Taglio ad acqua:

Il taglio a getto d'acqua è una tecnologia di taglio che utilizza un getto d'acqua ad altissima pressione (fino a 7.000 bar) per tagliare numerose tipologie di materiali. Il taglio waterjet abrasivo e ad acqua pura sta guadagnando la popolarità come utensile per tagliare una ampia varietà di materiali. Facilità di programmazione, costi contenuti di taglio e la possibilità di tagliare pressoché tutti i materiali da pochi decimi di millimetro fino a spessori di 250 mm con precisione del decimo di millimetro ne ha fatto una macchina essenziale per numerose tipologie di aziende per diverse applicazioni. Il taglio a getto d'acqua trova applicazione anche nel campo alimentare, naturalmente senza l'utilizzo di abrasivo, tagliano quindi con l'utilizzo di sola acqua. La tecnologia a idrogetto è in grado di tagliare qualsiasi tipo di materiale, con spessori fino a circa 150 mm (15 cm), con un'elevata precisione di taglio (dell'ordine di 1/10 di mm per spessori fino a 40-50 mm). Il taglio ad acqua non provoca alcuna alterazione fisica o deformazione meccanica del pezzo e consente di tagliare materiali di spessore non uniforme e materiali compositi o stratificati. La larghezza del solco di taglio è molto contenuta permettendo di ottenere la minima quantità di materiale asportato. L'idrogetto consente il taglio di materiali preverniciati e/o rivestiti con pellicola di protezione; inoltre le superfici originarie dal taglio presentano poche sbavature. La tecnologia a idrogetto può tagliare tutti i materiali che il taglio a laser non sarebbe in grado di tagliare senza danneggiare (gomma, sughero, pelle, cuoio, materiali espansi, plastica, legno, fibre di carbonio, ecc.) fino a spessori di 350 mm. Altri materiali lavorabili sono: titanio, ottone, rame, acciaio inossidabile, alluminio, vetro, marmo, ceramica, ecc.. Aggiungendo sostanze abrasive all'acqua è possibile tagliare spessori maggiori o materiali più duri con maggior velocità. L'abrasivo che solitamente si usa è una sabbia speciale di composizione almandina denominato Garnet che proviene dall'Australia e dall'India. L'abrasivo Garnet ha due origini, sabbioso che quindi si trova già in natura sotto forma di dune sabbiose e di origine rocciosa poi macinato nella granulometria richiesta. Il taglio a getto d'acqua è un taglio a freddo, quindi non altera le caratteristiche chimico fisiche del materiale tagliato. È possibile tagliare forme in 2D di qualsiasi sagoma con precisioni di  $\pm 0,1$  mm con macchine utensili dette a "3 assi" (denominati x,y,z solitamente). Si possono inoltre utilizzare robot (5 o più assi) per tagliare materiali in tridimensionale come per esempio caschi, interni auto, lavorazioni speciali nel campo dell'aeronautica e molto altro ancora.



*Illustrazione 15: Water jet in azione su lastra di alluminio*



*Illustrazione 16: water jet in azione su materiale lapideo*

## Focus Architettonico:

### **Il taglio ad acqua per l'architettura, il caso del materiale lapideo:**

IL taglio ad acqua o *waterjet* è una tecnologia entrata in azione ormai da diversi anni nel settore delle costruzioni, in particolare nel taglio di lastre lapidee, taglio delle lamiere e nel campo del restauro, con pressioni ad *hoc*, per poter effettuare delle abrasioni superficiali. Gli ambiti applicativi risultano interessanti per la precisione di taglio ottenibile. In particolare, non sussistendo surriscaldamento durante il processo di taglio, è praticamente impossibile ottenere deformazioni termiche, con ottimi risultati prestazionali e superficiali. Il tipico impiego di questa tecnologia consiste nella produzione di pavimentazione e piani ad *hoc in materiale lapideo*. *Questo settore produttivo ha saputo integrare in modo eccellente la tecnologia per realizzare complessi intarsi, decorazioni ed ornamenti su misura.*



*Illustrazione 17: in questa lastra è possibile individuare il punto di partenza del tracciato di ogni taglio e lo spessore del taglio*

# Inquadramento tecnologico:

## Il Tornio CNC:

Il **tornio** o **torno** è una macchina utensile utilizzata per la lavorazione di un pezzo posto in rotazione. La lavorazione avviene per asportazione di truciolo ed è detta tornitura.

Tornio a controllo numerico, detto anche Tornio CNC (acronimo dell'inglese *Computer Numerical Control*), rappresenta in un certo senso la massima evoluzione della macchina utensile della quale stiamo parlando. Può fare tutto ciò che fanno gli altri tipi descritti sopra ma tutto avviene in un totale automatismo controllato da un computer. I parametri del pezzo desiderato vengono inseriti in un apposito programma e gli elementi della macchina si muovono comandati dal computer al quale, contemporaneamente alla lavorazione, giungono i segnali provenienti da vari sensori (laser) posti nei punti essenziali così da poter tenere costantemente d'occhio il buon andamento del lavoro. Se per qualsiasi ragione (ad esempio la consumazione dell'utensile) il sensore registra che il pezzo non rientra più nelle dimensioni impostate vi è un sistema che immediatamente provvede alla necessaria correzione. La precisione dei pezzi ottenuti con questa macchina è elevatissima, dell'ordine dei centesimi o addirittura millesimi di millimetro. In questo caso l'operatore si limita al controllo dei dati mostrati dal computer ed eventualmente al controllo dei prodotti a campionamento.



*Illustrazione 18: tornio cnc con tipiche barriere di protezione*



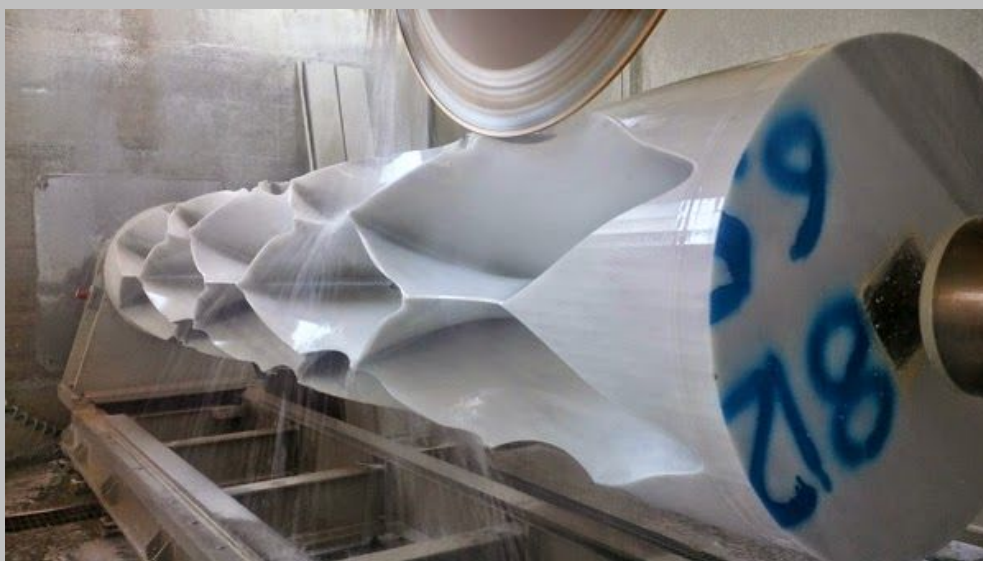
## Focus architettonico:

### Il Tornio CNC per l'architettura, il caso del marmo:

Come per il taglio ad acqua anche la tecnologia di tornitura cnc per il materiale lapideo è estremamente interessante. Questo settore di intervento permette la realizzazione di diverse applicazioni, come ad esempio modanature su colonne, la realizzazione di balaustre e la realizzazione in generale di ogni oggetto che derivi da una rivoluzione, nell'ambito della modellazione cad.



*Illustrazione 19: lavorazione per tornitura cnc di un elemento statuario tradizionale*



*Illustrazione 20: realizzazione di una colonna con scanalature complesse tramite tornio cnc*

# Inquadramento tecnologico:

## Lo scanner laser:

I laser a scansione (o laser scanner) sono dispositivi capaci di emettere un impulso elettromagnetico (il laser) e di ricevere il segnale riflesso, misurando l'intervallo di tempo trascorso e quindi la distanza tra lo strumento ed il punto rilevato. Il raggio laser viene deflesso mediante un meccanismo di specchi rotanti ed oscillanti che con il variare dell'angolo azimutale e zenitale, illumina il terreno in punti contigui. Questo sistema opera misurando anche decine di migliaia di punti al secondo formando delle "nuvole di punti". Per ogni misurazione  $(x,y,z)$ , il sistema fornisce l'intensità del segnale di ritorno descrivendo la superficie dell'oggetto scansionato. Lo strumento lavora al micron, perciò bisognerà evitare le vibrazioni causate dall'esterno. La precisione dello strumento varia al variare della distanza e dell'angolo di incidenza del raggio ed è data dalla combinazione di tutti gli errori insiti nel sistema. Tanto più accurata deve essere la scansione, tanti più punti ravvicinati saranno posti a scansione.

Tipi di misurazione: Tempo di volo: per scansioni di oggetti grandi e distanti da 0,5 m fino a 6000 m. Misura della differenza di fase: per scansioni di oggetti di medie e grandi dimensioni da 0.6 m fino a ca. 330 m. Triangolazione ottica: per scansioni di altissima risoluzione di oggetti di dimensioni ridotte posizionati da 0,2 m a 25 m. Ovviamente le specifiche di distanza possono variare in maniera molto significativa da modello a modello, il campo operativo sopra indicato è da intendersi come la gamma di distanze minime e massime tra tutti i modelli attualmente in commercio.

Fasi della scansione e di elaborazione dei dati: *Messa in stazione (o in "bolla") dello strumento:* per i laser a scansione terrestre si utilizza un treppiede che non richiede necessariamente di essere messo in "bolla" perché la georeferenziazione completa può attuarsi in fase di elaborazione dei dati. Per i laser che si utilizzano in laboratorio si utilizza un piano ottico sensibile alle oscillazioni. *Acquisizione dei dati:* in una singola scansione, viene prodotta una nuvola di punti limitata dalle dimensioni della finestra di scansione dello strumento e dal fatto che una parte dell'oggetto può essere lasciata in ombra. Nel caso in cui l'oggetto non sia stato acquisito completamente si rende dunque necessario eseguire altre scansioni da allineare mediante algoritmi di surface matching e/o mediante mire (target artificiali). Nel caso in cui si utilizzino algoritmi di surface matching, due scansioni adiacenti devono comprendere dei punti in comune (generalmente si ricorre ad una sovrapposizione del 30%). Ogni scansione possiede un proprio sistema di riferimento che generalmente coincide con il centro dello strumento. *Pulitura della nuvola di punti:* si attua un filtraggio del rumore presente nella nuvola di punti acquisita dovuto essenzialmente alla divergenza del fascio laser ed ai problemi di individuazione della direzione del fascio stesso. In tale fase si esegue anche l'eliminazione di dati spuri o legati a disturbo (vegetazione, linee elettriche,...). *Allineamento delle singole scansioni (o registrazione delle scansioni).* È la procedura che



consente di allineare ed unire le singole acquisizioni in una unica nuvola di punti secondo un determinato sistema di riferimento. Essa può essere eseguita o mediante algoritmi di surface matching, in particolare l'algoritmo ICP (Iterative Closest Point), che allineano le parti comuni di scansioni adiacenti attraverso la minimizzazione della distanza tra esse, o mediante uso di punti di controllo materializzati mediante target artificiali. Va sottolineato che la precisione ottenibile mediante surface matching è generalmente migliore di quella ottenibile mediante soli punti di controllo; il secondo tipo di registrazione è quindi generalmente limitato a quei casi in cui non sia possibile disporre di una quantità sufficiente di punti in comune tra scansioni adiacenti.

*Georeferenziazione*, per attuare la quale si utilizza una rete di appoggio topografico, generalmente basata sull'uso di GPS e/o stazione topografica totale (nel caso in cui l'allineamento delle singole scansioni sia eseguito mediante target artificiali, registrazione delle scansioni e georeferenziazione possono essere attuate contemporaneamente).



*Illustrazione 21: Scanner 3d professionale Leica*

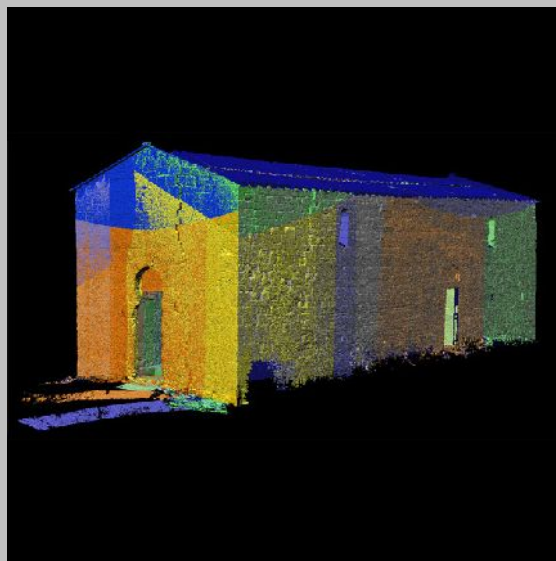
## Focus architettonico:

### Lo scanner laser per l'architettura, il caso del rilievo 3d:

La scansione laser 3d è attualmente uno degli strumenti più utili ed efficaci per passare dal modello reale al quello virtuale, secondo quello che nel campo del design e dell'ingegneria è riferito come reverse engineering. Attualmente nel campo delle costruzioni l'applicazione del processo di scansione e l'abbinamento di metodologie BIM, permette inoltre di configurare scenari sorprendenti per la gestione del costruito e del suo management, energetico, architettonico, impiantistico etc. Lo stesso vale per la gestione dei cantieri di restauro, dove un più tradizionale impiego, con l'unica finalità di ottenere un accurato rilievo geometrico, permette una grande precisione ed accuratezza del dato.



*Illustrazione 22: esempio di scansione 3d per un rilievo architettonico*



*Illustrazione 23: esempio 2 di scansione 3d per un rilievo architettonico*

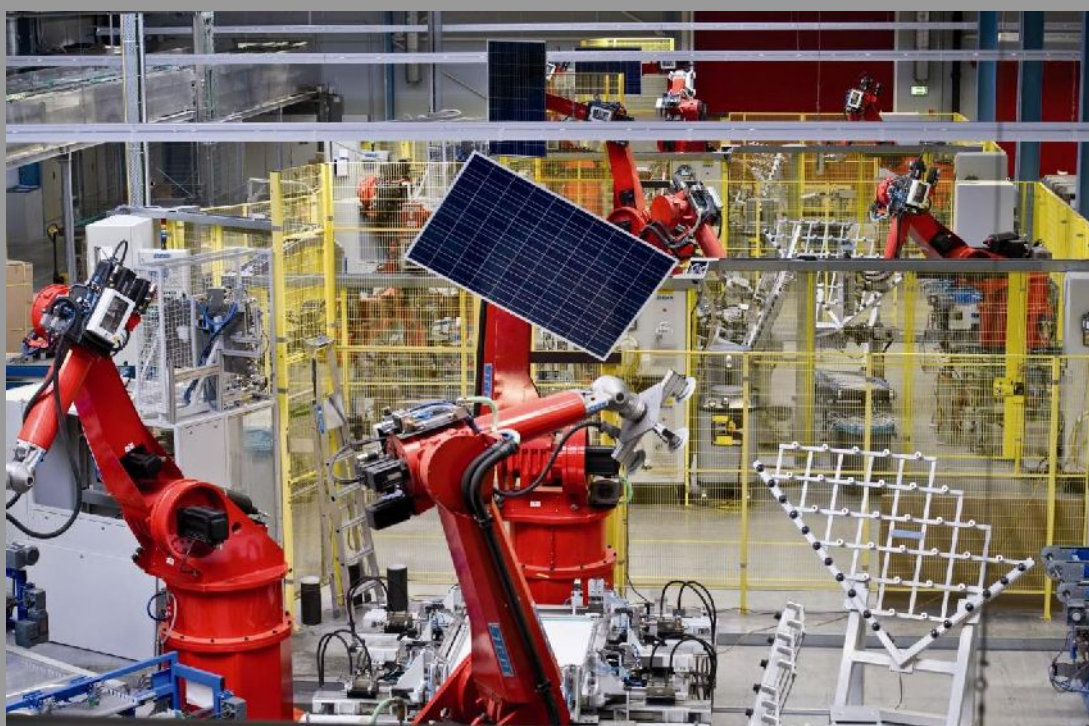
# Inquadramento tecnologico:

## Robot e automazione:

Nel linguaggio comune, un *robot* è un'apparecchiatura artificiale che compie determinate azioni in base ai comandi che gli vengono dati e alle sue funzioni, sia in base ad una supervisione diretta dell'uomo, sia autonomamente basandosi su linee guida generali, magari usando processi di intelligenza artificiale; questi compiti tipicamente dovrebbero essere eseguiti al fine di sostituire o coadiuvare l'uomo, come ad es. nella fabbricazione, costruzione, manipolazione di materiali pesanti e pericolosi, o in ambienti proibitivi o non compatibili con la condizione umana o semplicemente per liberare l'uomo da impegni. Un robot così definito dovrebbe essere dotato di connessioni guidate dalla retroazione tra percezione e azione, e non dal controllo umano diretto. L'azione può prendere la forma di motori elettro-magnetici, o attuatori, che muovono un arto, aprono e chiudono una pinza, o fanno deambulare il robot. Il controllo passo-passo e la retroazione sono forniti da un programma che viene eseguito da un computer esterno o interno al robot, o da un microcontroller. In base a questa definizione, il concetto di *robot* può comprendere quasi tutti gli apparati automatizzati.

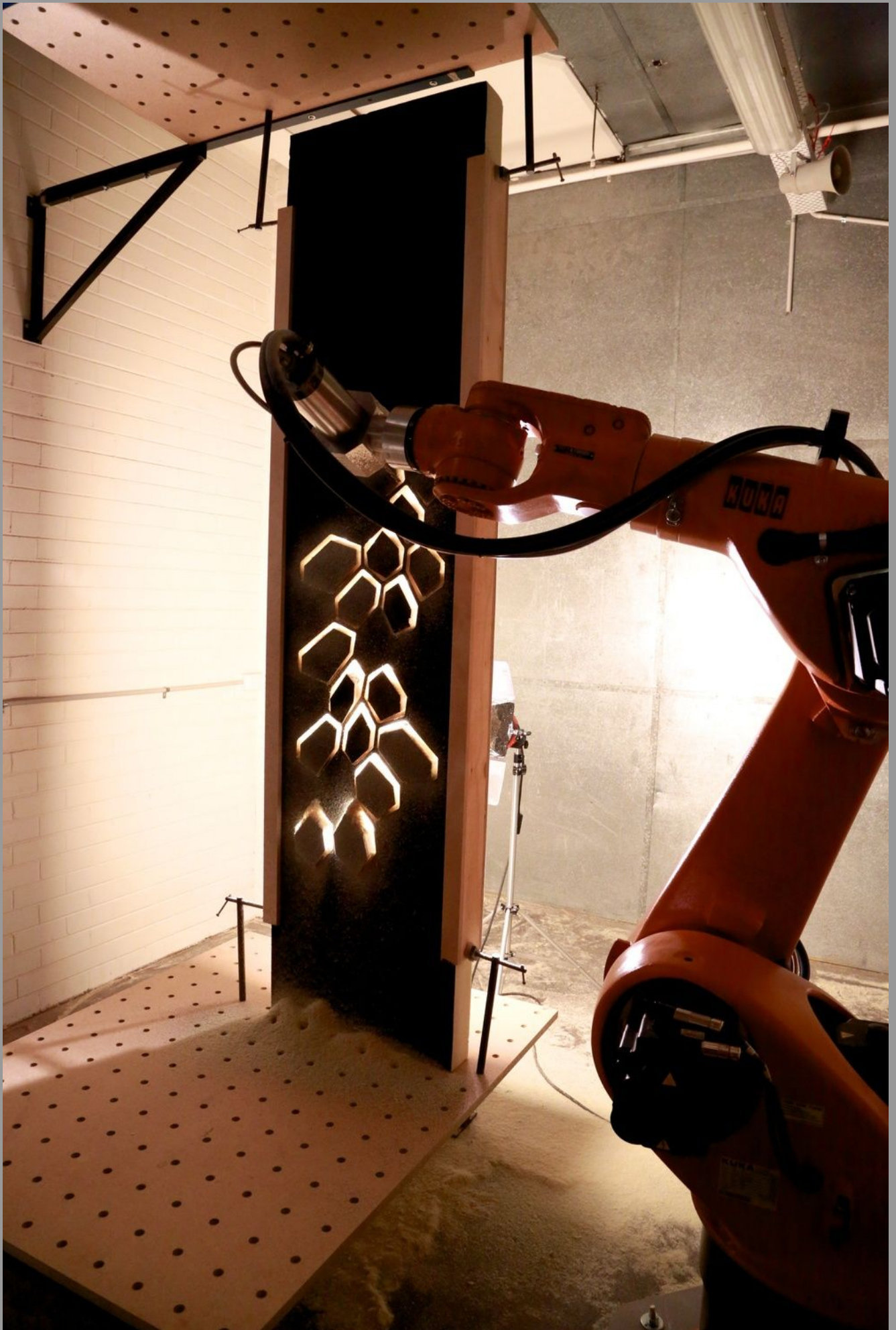
In alternativa, il termine *robot* viene usato per indicare un *essere artificiale*, un automa o androide, che *replichi* e somigli ad un animale (reale o immaginario) o ad un uomo. Il termine ha finito per essere applicato a molte macchine che sostituiscono direttamente un umano o un animale, nel lavoro o nel gioco.

forniti ai motori. Ciascun livello invia il risultato della propria computazione al livello sottostante, dal quale è retroattivamente influenzato.



*Illustrazione 24: Bracci antropomorfi pick and place in catena di montaggio*



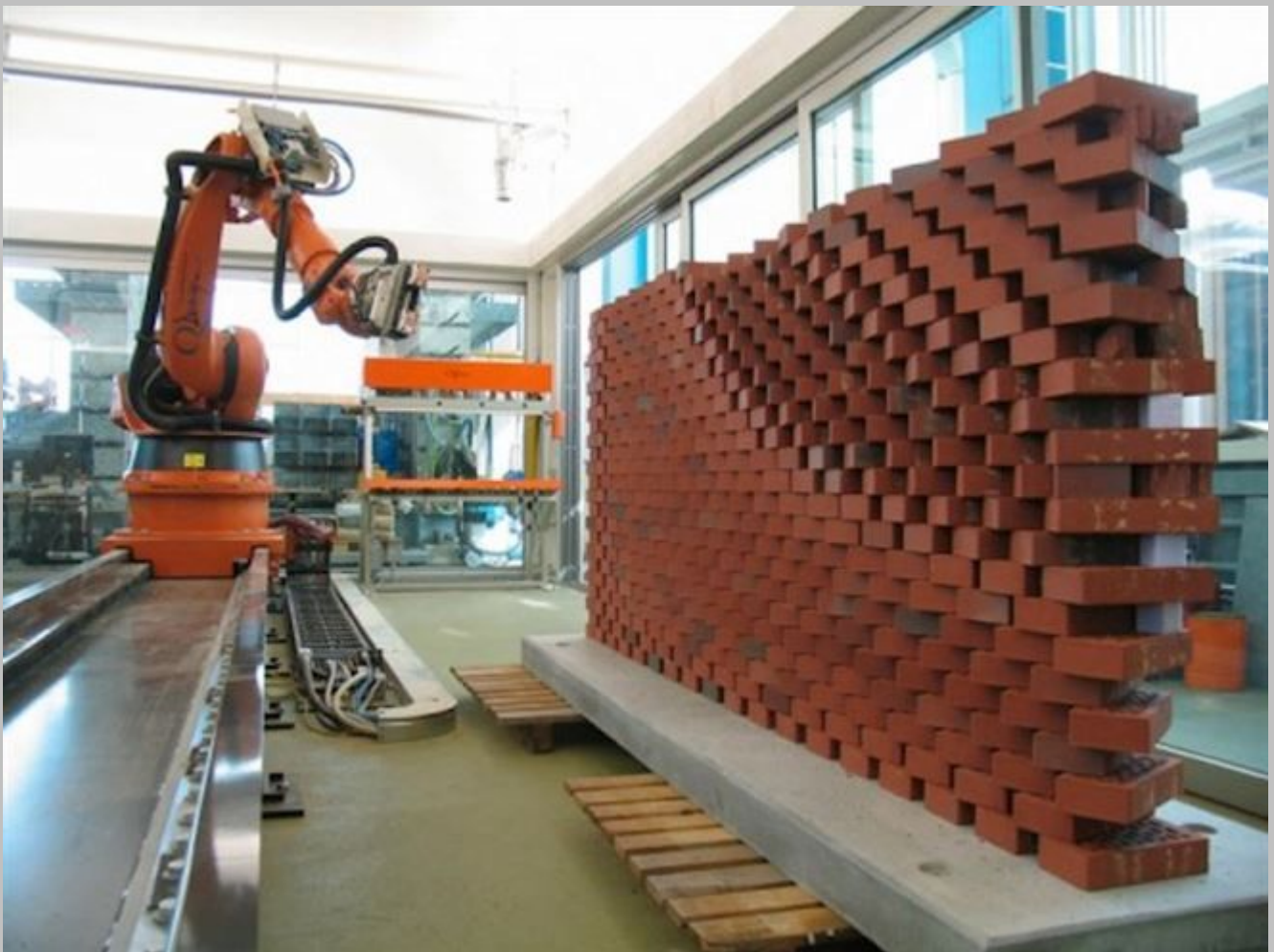


*Illustrazione 25: Robot antropomorfo KUKA con mandrino fresante*

## Focus architettonico:

### Robot e automazione per l'architettura, il caso della ricerca:

Negli ultimi anni si è assistito, nel campo della ricerca e sperimentazione per l'architettura, della fabbricazione digitale e dell'automazione industriale, ad una convergenza di interessi accademici, produttivi e progettuali del tutto inediti. Sono sorti infatti in giro per il globo, nei più qualificati fab lab o dipartimenti universitari di ricerca architettonica, degli innovati processi di sperimentazione attorno all'impiego di robot per costruzioni formalmente innovative, per nuove modalità di assemblaggio, per nuove composizioni computazionali, per nuove applicazioni funzionali inedite ed in generale nuove esplorazioni con i potenti strumenti offerti dalle tecnologie robotiche antropomorfe. È nata su questa scia l'associazione robot in architecture, con lo scopo di promuovere, divulgare e veicolare l'utilizzo sperimentale di queste tecnologie nel campo delle costruzioni. L'intento di questa associazione è infatti quello di indagare nuove opportunità, nuove applicazioni, nuovi processi e nuovi scenari per il comparto architettonico ed edile, partendo dai progetti, le suggestioni, le riflessioni ed i contributi sparsi per il globo.



*Illustrazione 26: sperimentazione assemblativa con mattoni semipieni in laterizio e robot antropomorfo*

## **La fabbricazione digitale per l'architettura ed i suoi componenti.**

Pensare alla fabbricazione digitale è facile se si pensa a oggetti di ridotte dimensioni, dove sia possibile realizzare un prototipo in tempi rapidi con la stampa 3d o arduino tuttavia oggi è possibile fabbricare e prototipare diversissime categorie di oggetti e prodotti merceologici, dalle piccole dimensioni alle medie fino alle grandi. Per ragionare in quest'ottica di fabbricazione digitale su vasta scala, per medie e grandi serie o per grandi realizzazioni, riferendoci a qualsiasi oggetto, materiale, forma o complessità, è necessario che si creino alcuni presupposti:

- Ogni territorio deve avere al suo interno o deve, in ogni modo, rendere disponibile un insieme di tecnologie per la fabbricazione digitale, concentrate in fab lab, tech shop, maker space etc. o dislocate anche fra diversi proprietari ma utilizzabili da più persone quindi messe in rete (anche a pagamento).

- Ogni territorio deve creare, diffondere e far dialogare il know how per progettare e fabbricare in modo digitale

- L'uso di tecnologie per la fabbricazione digitale deve risultare più conveniente rispetto a quello di altre più tradizionali, in termini di precisione, costo, tempo o complessità.

Detto questo, si può valutare come queste tecnologie possano e potranno influenzare il campo architettonico nel suo complesso, sia negli aspetti formali sia in quelli costruttivi. Da tempo, infatti, l'architettura è attraversata da una grande corrente di rinnovamento, che pone un nuovo importante interesse sul tema della complessità, sia essa legata alla facciata di un manufatto, o a un intero edificio, o su scala urbana. In particolare oggi la cultura architettonica pare tesa verso la complessità delle forme, dei sistemi, dei componenti, degli utilizzi etc.

Specialmente in campo formale e compositivo, questa complessità trova la sua incarnazione, lasciando il segno delle interpretazioni dei singoli progettisti.

Analogamente a questa chiave di lettura se ne propone un'altra: la forma è diventata a volte preponderante sul contenuto, sulla funzione, e sembra di essere pervasi da forme complesse che molto spesso non sappiamo ricondurre a un perché ma solo a un'intenzionalità estetica.

Non è compito di questa tesi approfondire questo tema ma rimane di rilevante interesse l'emergere del seguente dato:

- Forme complesse e complessità regolano molta della composizione architettonica contemporanea.

Detto questo, risulta evidente come la fabbricazione digitale in campo architettonico possa dare un sostegno incisivo, permettendo di realizzare forme molto complesse in modo assolutamente attendibile e programmato.

Progettare in modo parametrico per fabbricare l'architettura in modo digitale vuol dire anche avere tempi certi di costruzione, modalità costruttive e assemblative (molto spesso a secco) più sicure e programmate, la possibilità di realizzare previsioni e modellizzazioni preventive a partire dai file di un progetto.



Risulta evidente da queste brevi righe come la fabbricazione digitale e la precedente modellizzazione e progettazione parametrica-3d siano oggi due tasselli di un percorso evolutivo chiaro d'ingegnerizzazione delle costruzioni e dell'architettura.

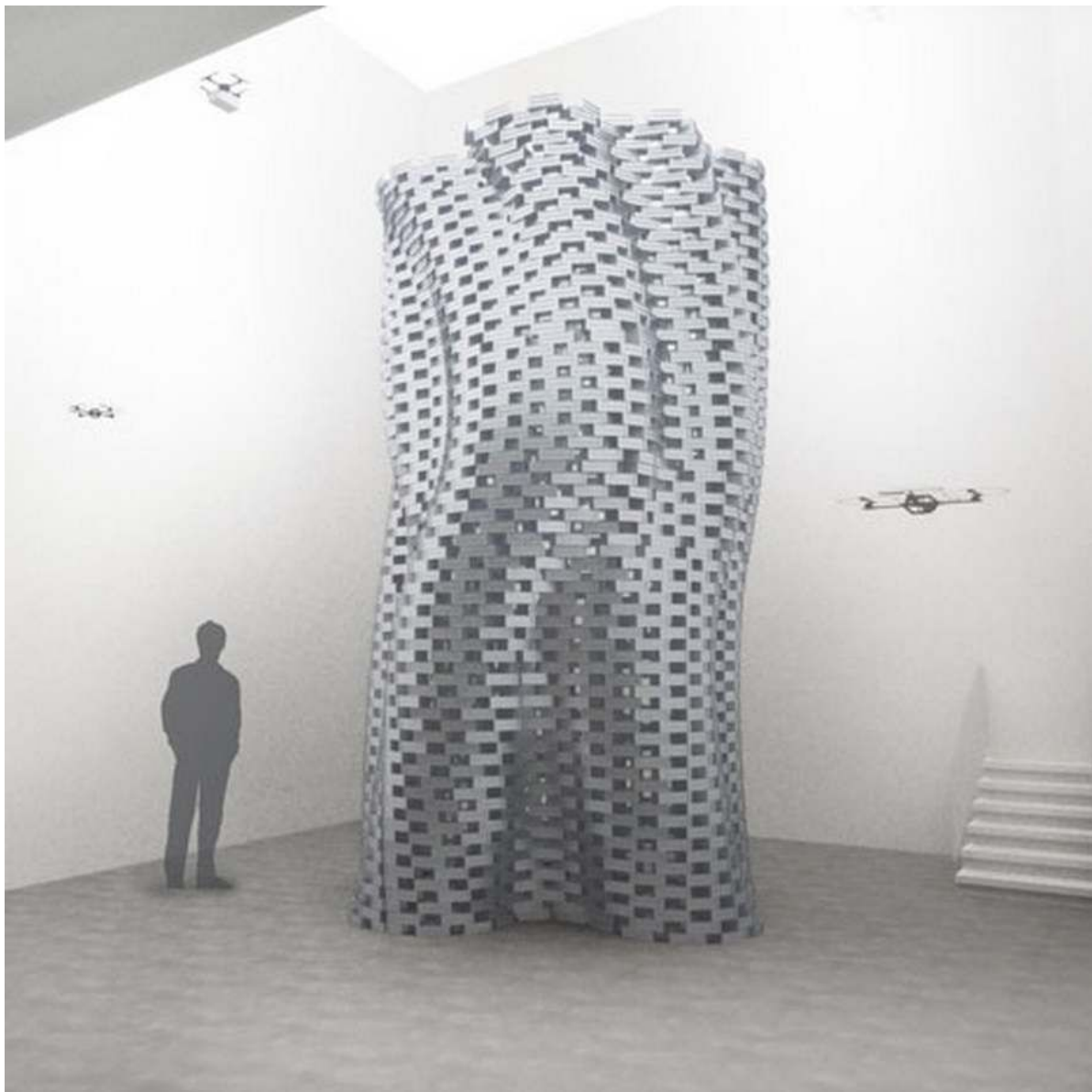
Progettare e costruire oggi con queste modalità permette, inoltre, nella fase di project management, una pianificazione più certa nei tempi e nei costi. La fabbricazione digitale s'inserisce in modo armonioso in questa grande macchina di rinnovamento delle costruzioni, permettendo una gestione certa e una varietà formale molto vasta e complessa.

<b>ESIGENZE</b>	<b>REQUISITI</b>	<b>PRESTAZIONI</b>
Tecnologie a controllo numerico per l'architettura	Formati e materiali idonei	Stampa 3d calcestruzzo, argilla, plastica o altri formati in formati idonei a comporre o componenti o sistemi o interi edifici
Tecnologie accessibili ai progettisti e ai costruttori	Predisposizione imprenditoriale alla collaborazione	network tra progettisti, costruttori, imprenditori che alimenti la cultura della fabbricazione digitale per l'architettura
vantaggio nell'uso di fabbricazione digitale rispetto alle tecnologie tradizionali	tempi, costi, precisione, complessità	la fabbricazione digitale prende atto se c'è una convenienza rispetto ai parametri dei requisiti. In particolare può determinare: <ul style="list-style-type: none"> <li>-rapidità di esecuzione in tempi certi</li> <li>-maggiore o minore costo in base alla complessità</li> <li>-maggiore precisione, sempre in base all'oggetto e alla tecnologia utilizzata</li> <li>-realizzazione di forme complesse, difficilmente realizzabili in altro modo, svincolandosi dai limiti delle tecnologie tradizionali</li> </ul>

*Tabella 1: Tabella esigenze, requisiti, prestazioni tra architettura e digital fabrication*



*Illustrazione 27: Progetto swiss wall flying durante il trasporto di un drone di un brick*



*Illustrazione 28: Swiss wall flying render*

# Casi di studio

## Viktor-Hektor plotter, un sistema per la grafica murale:

Questo prototipo è un plotter verticale in grado di coprire luci fino a 20 x 20 m. Il macchinario è composto da 4 motori passo passo, posti ai vertici di un quadrato o rettangolo che il plotter copre in verticale. Ai motori sono connessi dei tiranti che convergono in un punto centrale. Questo punto centrale di fissaggio è mobile in quanto l'azionamento di uno o più motori ne determina lo spostamento nello spazio. Questo prototipo è stato pensato per realizzazioni grafiche infatti nel punto centrale di fissaggio vi è ancorato un pennarello o gesso ma lo stesso sistema potrebbe essere applicato ad un pantografo o stampante 3d verticale che sottragga o depositi materiale dalla parete.



Illustrazione 29: Plotter applicato su una lavagna

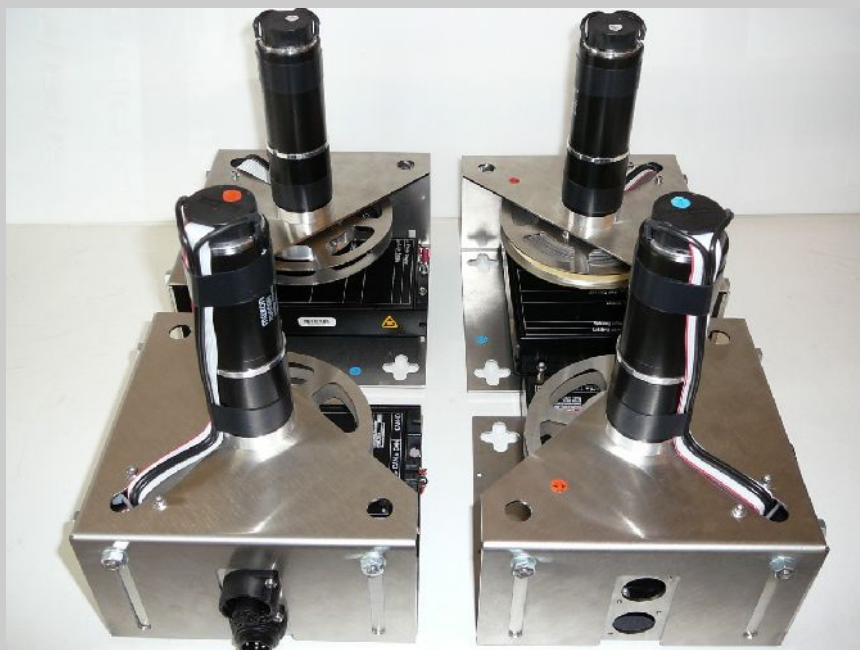


Illustrazione 30: Motori passo passo per la movimentazione dei tiranti



## Wasp project, stampanti 3d per case in terra cruda e argilla:

*Wasp* è l'acronimo di *world's advanced saving project*, *wasp* è una *start up* di Massa Lombarda in provincia di Ravenna che costruisce stampanti 3d. Il loro sogno obiettivo è costruire stampanti 3d, per realizzare una grande stampante in grado di costruire abitazioni. Questa *start up* è fondata da giovani *maker* – architetti e designer, con un imprenditore che da oltre 10 anni lavora nel campo delle nuove tecniche di fabbricazione digitale, Massimo Moretti. Moretti alla camera dei deputati ha pronunciato le seguenti parole " Questo è il centro del concetto di stampa 3d...dare ai giovani la speranza di fare, di creare di nuovo. Uscendo dalle logiche di produzione attuali e proporsi direttamente sul mercato". La sfida di *wasp* è riuscire ad innovare affrontando un problema di scala globale ma realizzando sperimentazione e ricerca soprattutto su scala locale, questo significa un approccio di tipo globale ai mutamenti in atto nel nostro tempo.



Illustrazione 31: Wasp project durante un stampa 3d in argilla di grande formato



Illustrazione 32: Wasp projet durante la stampa 3d di un plastico architettonico in argilla

La loro ispirazione nasce dalle vespe vasaie, che depositando la terra bagnata sullo strato precedente, compone il suo nido, per poi farla seccare al sole. Un'idea semplice che ha ispirato l'idea alla base di *wasp*: ovvero creare una grande stampante 3d per argilla e fibre naturali, in grado di realizzare intere abitazioni per aree del mondo in via di sviluppo, come l'Africa o sud America, cercando di risolvere il grave problema degli *slums* e *favelas* in giro per il pianeta. Il metodo di *wasp* da un punto di vista imprenditoriale inoltre è quello di auto finanziarsi grazie alla commercializzazione e vendita di stampanti di vari formati. La produzione parte da modelli e dimensioni standard, che alimentano e generano dei ricavi in grado di permettere nuovi investimenti per tecnologie sempre superiori, con l'obiettivo *milestone* di arrivare alla stampante 3d per abitazioni.



*Illustrazione 33: Wasp projet durante il processo di stampa 3d per argilla*



## Fab Lab House Iaac project, una casa fabbricata digitalmente:

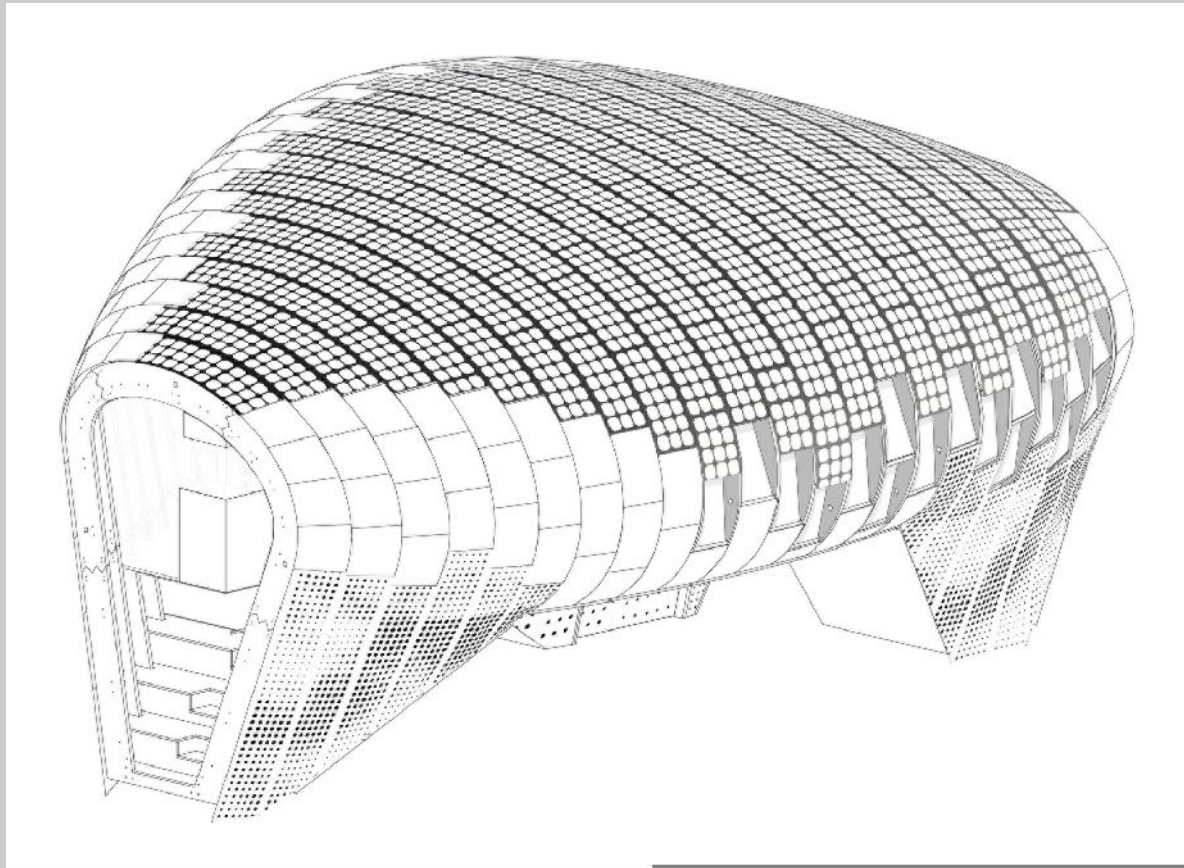
La fab lab house è una casa auto sufficiente da un punto di vista energetico, nasce all'interno di un challenge, il solar decathlon europe 2010 da un consorzio ed organizzazione, coordinati dallo IAAC di Barcellona. Questa casa è interamente progettata con software di modellazione 3d ed è stata realizzata con grossi centri di taglio e fresatura a controllo numerico. L'assemblaggio è stato realizzato dallo stesso IAAC. Il progetto mette in luce nel suo complesso come il controllo numerico e la fabbricazione digitale possano trovare un impiego sinergico nello sviluppo di un'abitazione. In particolare si noti il complesso reticolo strutturale che compone il basamento e l'intelaiatura dell'unità involucro.



*Illustrazione 34: sezione basamentale dell'architettura durante le fasi di assemblaggio*



*Illustrazione 35: assemblaggio tramite gru di una sezione*



*Illustrazione 36: assonometria del progetto*



*Illustrazione 37: Architettura realizzata e team di progetto*



## D-Shape, una stampante 3d per intere strutture:

Il progetto *D-shape* nasce da un'intuizione dell'ingegnere toscano Enrico Dini, il macchinario da lui progettato e costruito è un plotter 3d in grado di stampare forme tridimensionali in scala 1:1 in materiale lapideo, questo macchinario è stato brevettato ed attualmente i suoi clienti sono molto prestigiosi, tra cui in *primis* la NASA. Il plotter deposita sabbia che viene solidificata, strato su strato, con un componente inorganico che fa solidificare la sabbia in roccia. La stampante 3d è costituita da una struttura reticolare in alluminio e 300 ugelli che estrudono il materiale. Gli oggetti realizzati possono essere interi blocchi oppure componenti assemblabili direttamente in loco, ad esempio in cantiere.



*Illustrazione 38: laboratorio D-SHAPE*



*Illustrazione 39: Stampante in ambiente out door*



*Illustrazione 40: Oggetto scultoreo realizzato con la stampante 3d di D-SHAPE*



## **Il caso cinese, stampa 3d di calcestruzzo per sezioni di edifici:**

A Shanghai nasce un nuovo macchinario, una stampante 3d per calcestruzzo lunga 150 m, larga 10 m ed alta 6 m, per costruire abitazioni in tempi certi, rapidi e a basso costo. Il costo di un abitazione risulta essere di 3500 euro, un grande fattore potenziale innovazione per il mercato cinese, che è attraversato da un boom economico ed anche edilizio. La stampa 3d non è pensata per avvenire in cantiere piuttosto è pensata come la tecnologia della prefabbricazione del calcestruzzo insegna ovvero in industria. L'industria preposta è a Shanghai, i vari pezzi sono realizzabili separatamente e poi possono essere assemblati in cantiere. Attualmente le difficoltà di stampa in serie di questo tipo di edifici risiede nella copertura, ma gli ingegneri in team stanno lavorando per ottimizzare anche questa unità. Il problema consiste nel creare superfici inclinate con un materiale viscoso come il calcestruzzo, che matura e solidifica in tempi lunghi, diversamente da materiali plastici per esempio. In questo modo l'unico pezzo dell'abitazione che non risulta essere stampato 3d è proprio la copertura. L'inventore e CEO dell'azienda, Ma Yihe, prospetta un impiego di questa tecnologia per contesti ad alta densità, riconoscendo nel, l'edificio tipologicamente più adatto ad ospitare ed integrare questo tipo di produzione.



*Illustrazione 41: Sezioni parziali realizzate con stampa 3d per CLS*



*Illustrazione 42: Architettura realizzata con stampa 3d di sezioni architettoniche poi assemblate*



*Illustrazione 43: Sezione tipo realizzata alta 2 piani*



## Countour Crafting, l'utopia del cantiere interamente robotizzato:

Presso l'Università della California del Sud, il professore Behrokh Khoshnevis ha realizzato una stampante 3D capace di costruire una casa in 24 ore in calcestruzzo rinforzato. La tecnologia sviluppata si chiama *Contour Crafting* ed il macchinario prende lo stesso nome. Il funzionamento di questo macchinario consiste in due binari su cui scorre il robo-stampante per calcestruzzo. Il macchinario è trasportabile nel sito dove realizzare l'abitazione. Basterà poi caricare il progetto nel sistema, e gli ugelli spruzzeranno cemento per dar forma a una nuova abitazione. Il robot provvede alla stampa della struttura, per serramenti, impianti, pavimenti e altre finiture almeno per ora, è necessaria mano d'opera specializzata, tipicamente come avviene nel cantiere tradizionale e contemporaneo. In ogni caso la promessa è quella di una casa costruita a tempo di record e a costi minori. Il calcestruzzo utilizzato per costruire l'edificio è composto da una miscela di polimeri di cemento e fibre, il che significa che è tre volte più resistente del calcestruzzo tradizionale utilizzato per costruire abitazioni. La NASA è attualmente interessata a questa tecnologia, come per il caso *D-Shape* e supporta questo tipo di ricerca, per trasferire il *know how* tecnologico per costruzioni sul suolo lunare.

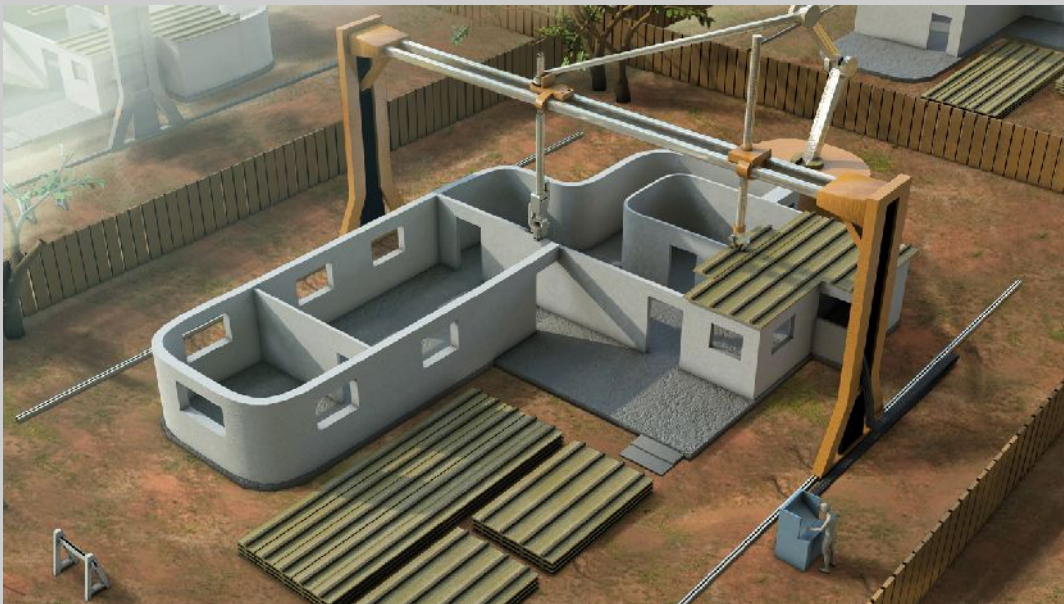
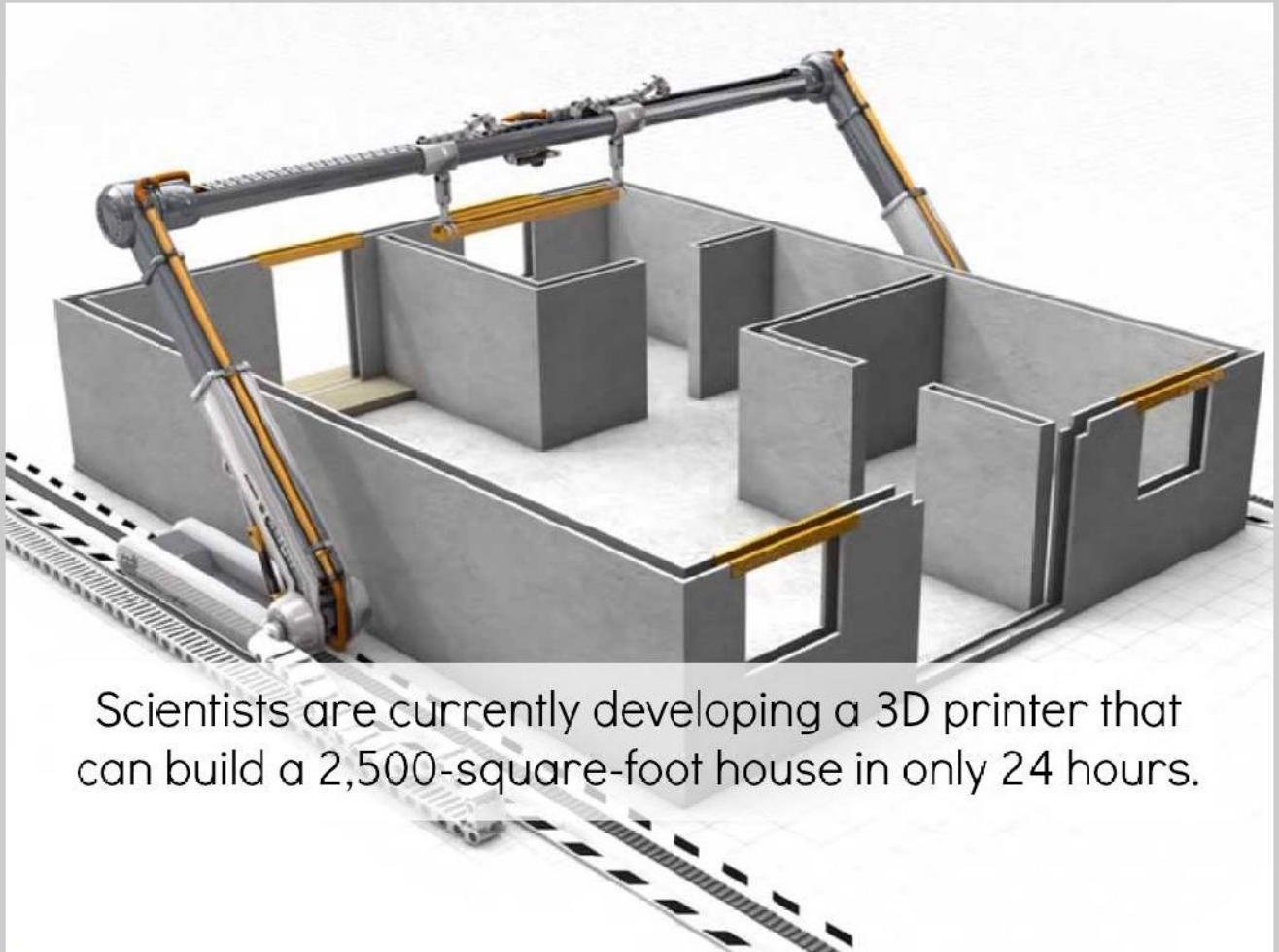


Illustrazione 44: Render del sistema

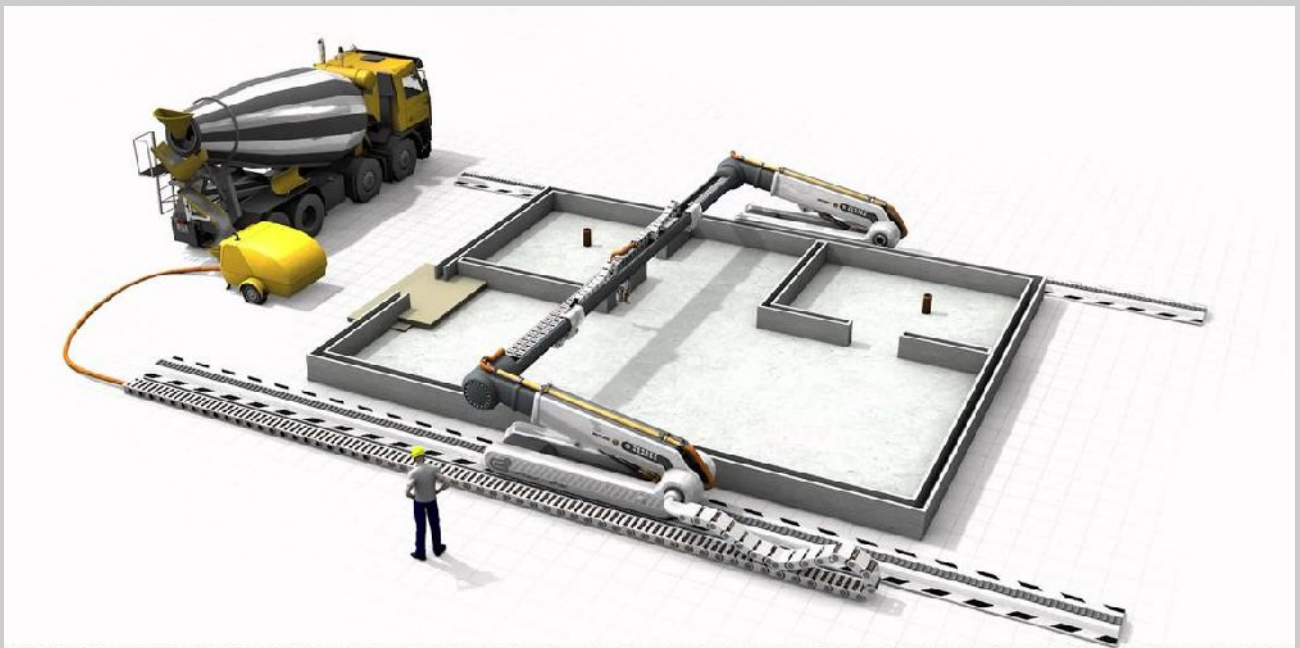


Illustrazione 45: render della seconda versione del sistema



Scientists are currently developing a 3D printer that can build a 2,500-square-foot house in only 24 hours.

*Illustrazione 46: rappresentazione render del sistema produttivo*

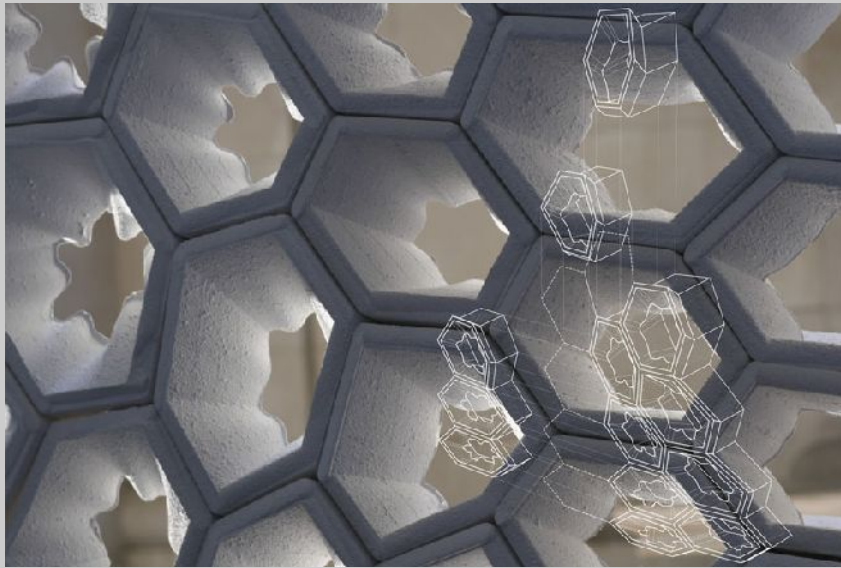


*Illustrazione 47: Render di una terza versione del sistema*

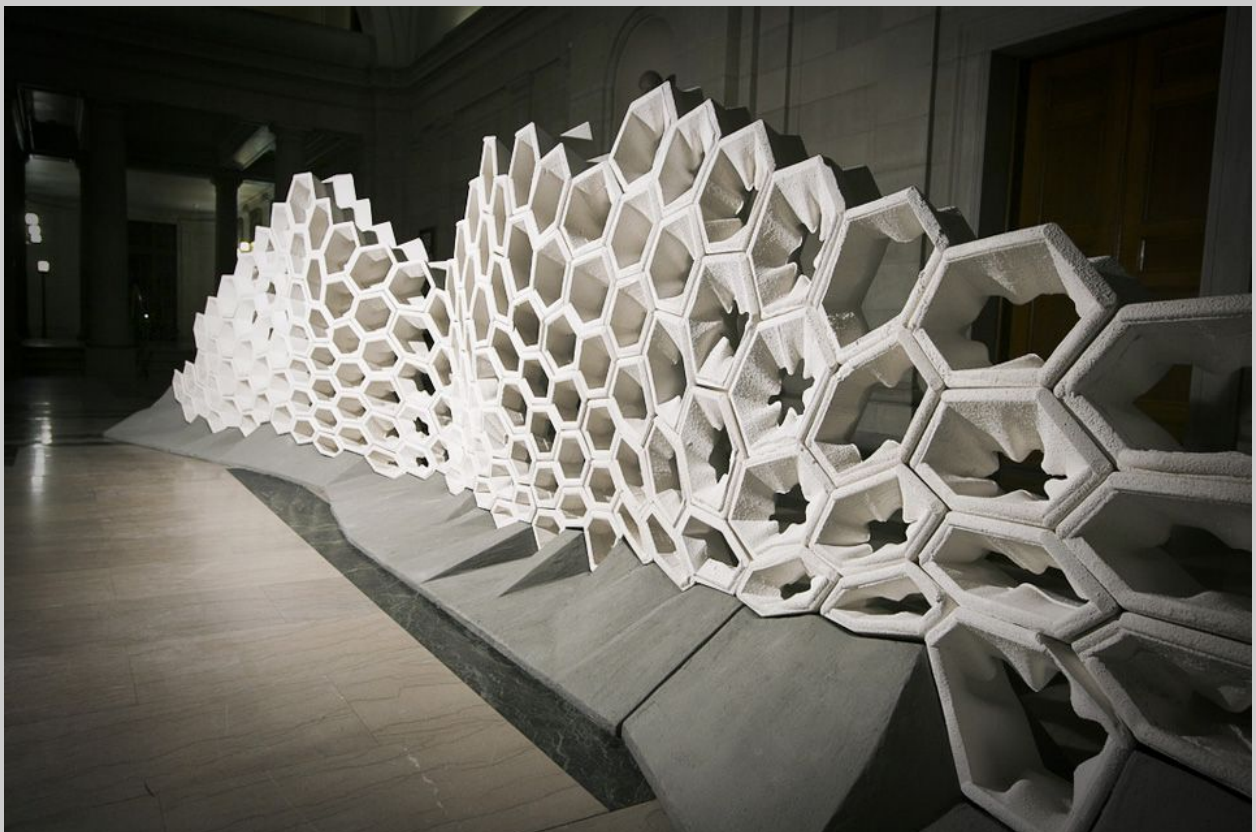


## Digital tectonics pinch, dal sistema parete al design dei componenti:

Il progetto riguarda una parete modulare, materializzata con moduli realizzati ad *hoc* ed un basamento di sostegno. La parete è composta infatti da moduli esagonali unici nel design, che si annidano uno dentro l'altro, in un processo assemblativo autoportante inedito e allo stesso tempo molto semplice, eliminando così eventuali adesivi o dispositivi di fissaggio a secco o con malta. Dal punto di vista produttivo si è operato realizzando degli stampi in negativo da blocchi di polistirolo, tramite sottrazione di materiale, realizzata con fresa robotizzata a controllo numerico. Ogni componente dello stampo è formato da due semi stampi separati che sono fresati dal un robot 7 assi e successivamente sono ricomposti per la colata del gesso. Gli stampi infatti sono successivamente allineati, fissati insieme in modo solidale e vi viene gettato il gesso liquido. Il progetto è coordinato dai progettisti Fabio Gramazio e Kostas Terzidis.



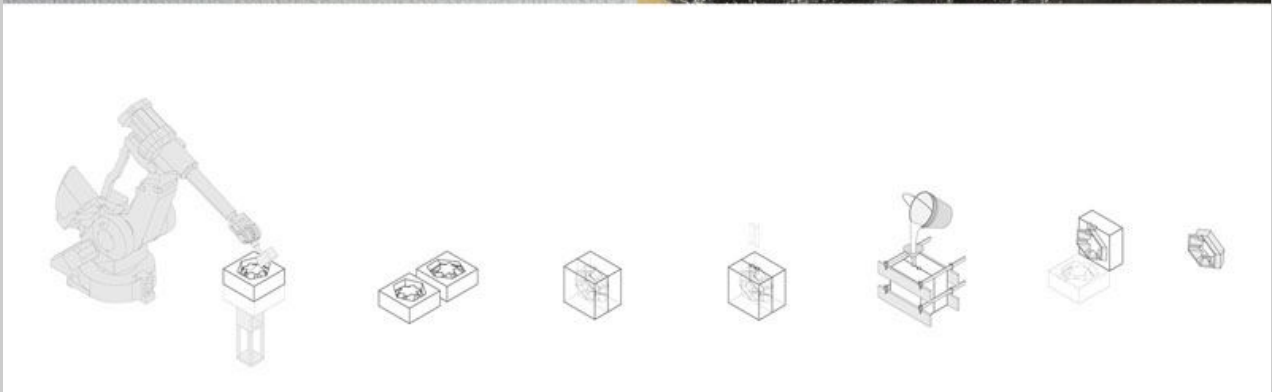
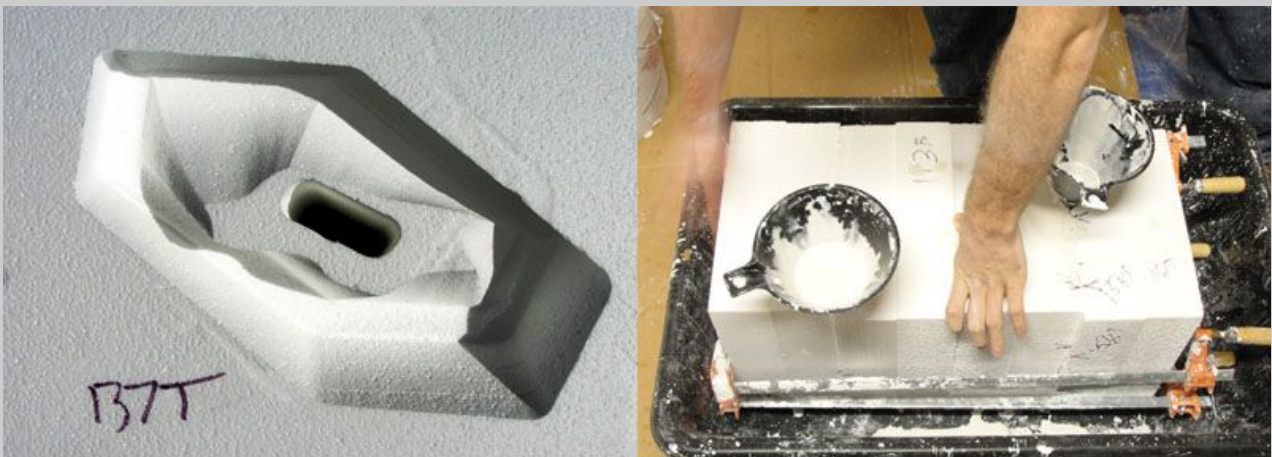
*Illustrazione 48: vista di dettaglio dei moduli esagonali*



*Illustrazione 49: vista di insieme della parete*



*Illustrazione 50: processo di fresatura degli stampi con robot a 7 assi*



*Illustrazione 51: schema di lavorazione dei moduli e viste del processo di colaggio del gesso*

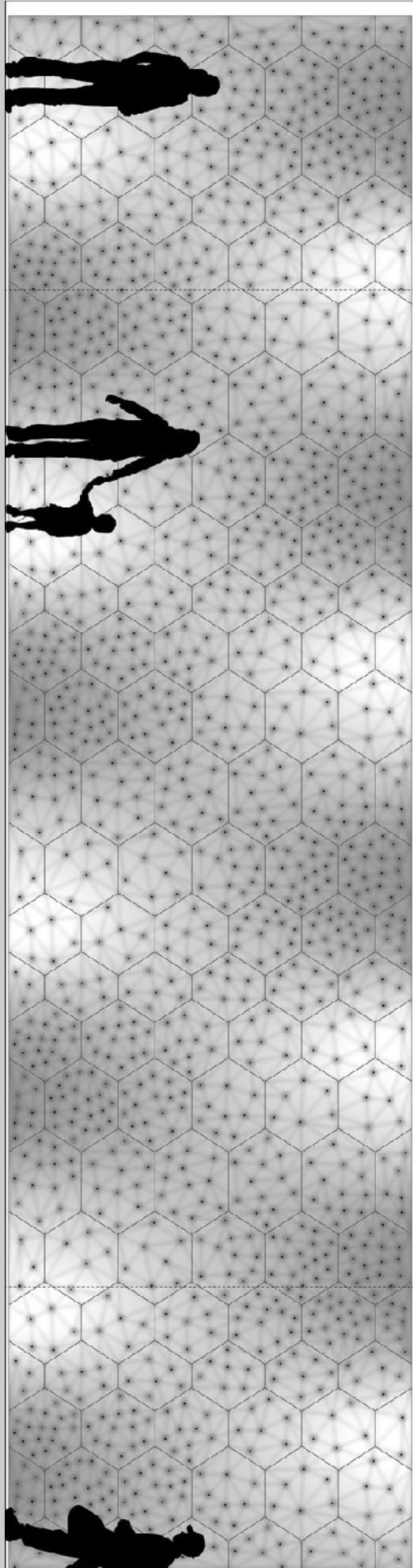


## **P-Wall, fabbricazione empirico-parametrica per il sistema parete ed i suoi moduli:**

P\_Wall (2013), parte della continua ricerca da Matsys sull'uso delle casseforme flessibili, lavori in cui il progettista celebra l'auto-organizzazione dei materiali sottoposti a forze fisiche. La forma del design emerge attraverso l'interazione del tessuto elastico cassaforma e la sospensione liquida di gesso. Il progettista ha il controllo sulle posizioni dei vincoli sul tessuto che forniscono una previsione ed un controllo sulla forma complessiva di ciascun pannello, ma la curvatura specifica è determinata esclusivamente dal sistema trovando uno stato di equilibrio tra massa ed elasticità. Questo processo produttivo non è propriamente digitale anzi pare essere completamente empirico tuttavia questo caso di studio mette in luce un altro aspetto emergente e di particolare interesse ovvero la relazione tra le forze fisiche naturali ed il loro aspetto previsionale e di controllo, sia con strumenti di fabbricazione digitale che attraverso modelli previsionali virtuali. Questa iterazione del muro è focalizzata su differenti aree di innovazione in riferimento alle sperimentazioni precedenti dello stesso autore. Innanzitutto, questo muro è il primo ad essere costruito in calcestruzzo fibrorinforzato anziché intonaco. Ogni pannello è solo 2 centimetri di spessore, riducendo notevolmente il peso di ogni pannello e permettendo loro di essere molto più grandi, rispetto al passato. Questo processo ha comportato l'uso di cinque modelli in gesso master (che alternativamente potrebbero essere stati realizzati in fabbricazione digitale) e successivi stampi in gomma siliconica, utili per il successivo processo di fabbricazione di un sottile guscio in cemento. L'aspetto previsionale è stato realizzato utilizzando modelli di simulazione digitale, una discretizzata approssimazione del muro è stata creata virtualmente ed ha permesso molti più cicli di progettazione e test ovvero circoli di iterazione in confronto con i progetti precedenti della serie.



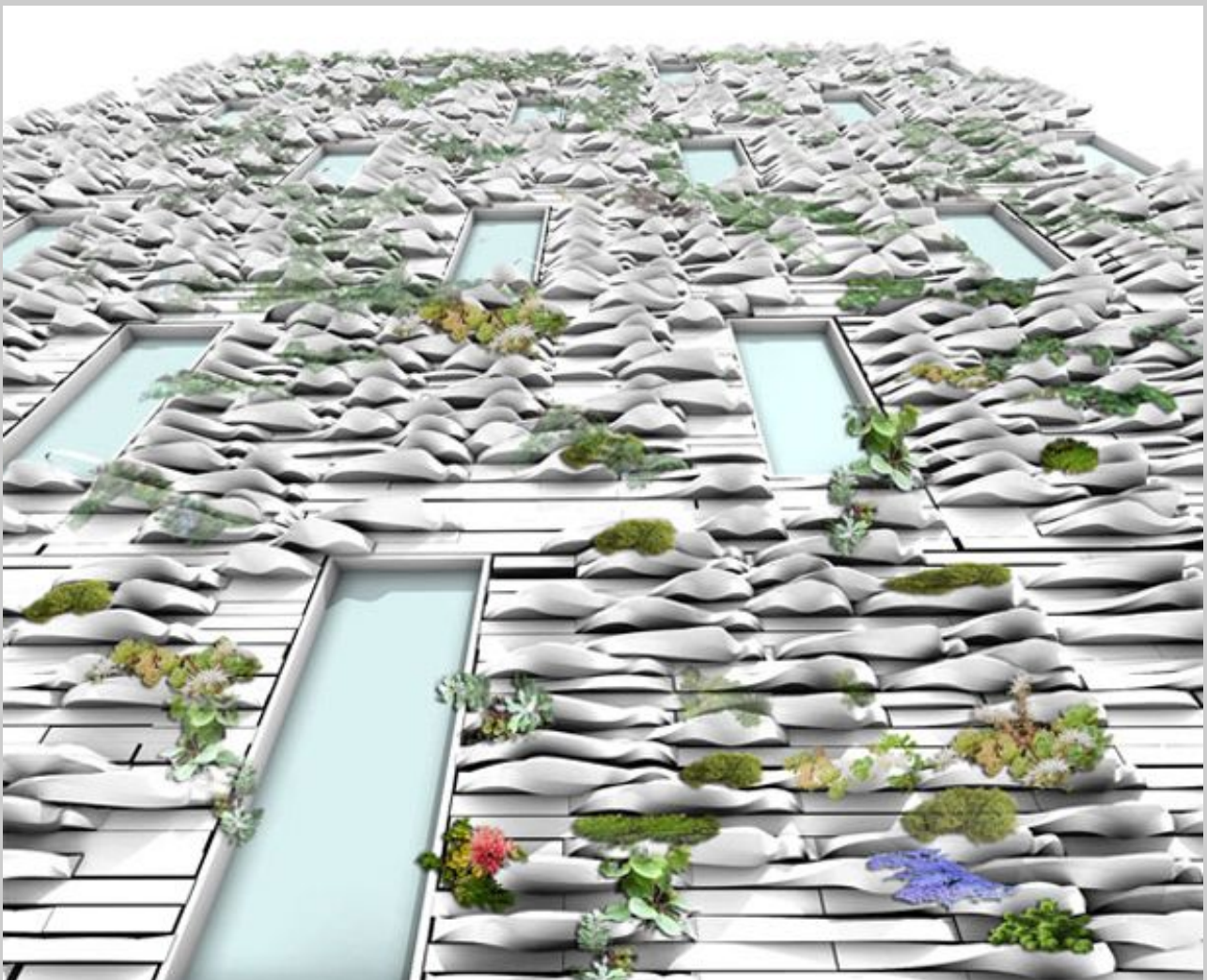
*Illustrazione 52: vista del sistema parete*



*Illustrazione 53: rappresentazione  
parametrica di controllo previsionale*

## **Bricks Planter, il component design unito alla fabbricazione digitale:**

Bricks Planter è un nuovo concept per un sistema di parete verticale verde in ceramica. Due aspetti del prototipo contraddistinguono questo progetto da altri sistemi convenzionali, rispetto all'unità tecnologica pareti di involucro. In primo luogo, i mattoni sono stampati in 3D, sono infatti digitalmente prodotti da file stl. In secondo luogo, la forma dei moduli serve come contenitore per la coltivazione di piante e vegetazione con l'intento di rivestire una parete dell'edificio esterna o interna. Il progetto è frutto della ricerca e del design di Rael San Fratello Architetti specializzati in oggetti 3D stampati per l'architettura. Durante la costruzione, i mattoni possono essere assemblati in una intercapedine portante, possono inoltre essere installati come rivestimento su un muro tradizionale, con intercapedine grazie ad un sottostruttura, come avviene già per le pareti ventilate in materiale lapideo o laterizio. Le rientranze dei mattoni permettono la funzione irrigua delle piante, con sistemi di drenaggio e di distribuzione a caduta a goccia, che trae la pressione per la distribuzione da una cisterna disposta sul tetto dell'edificio.



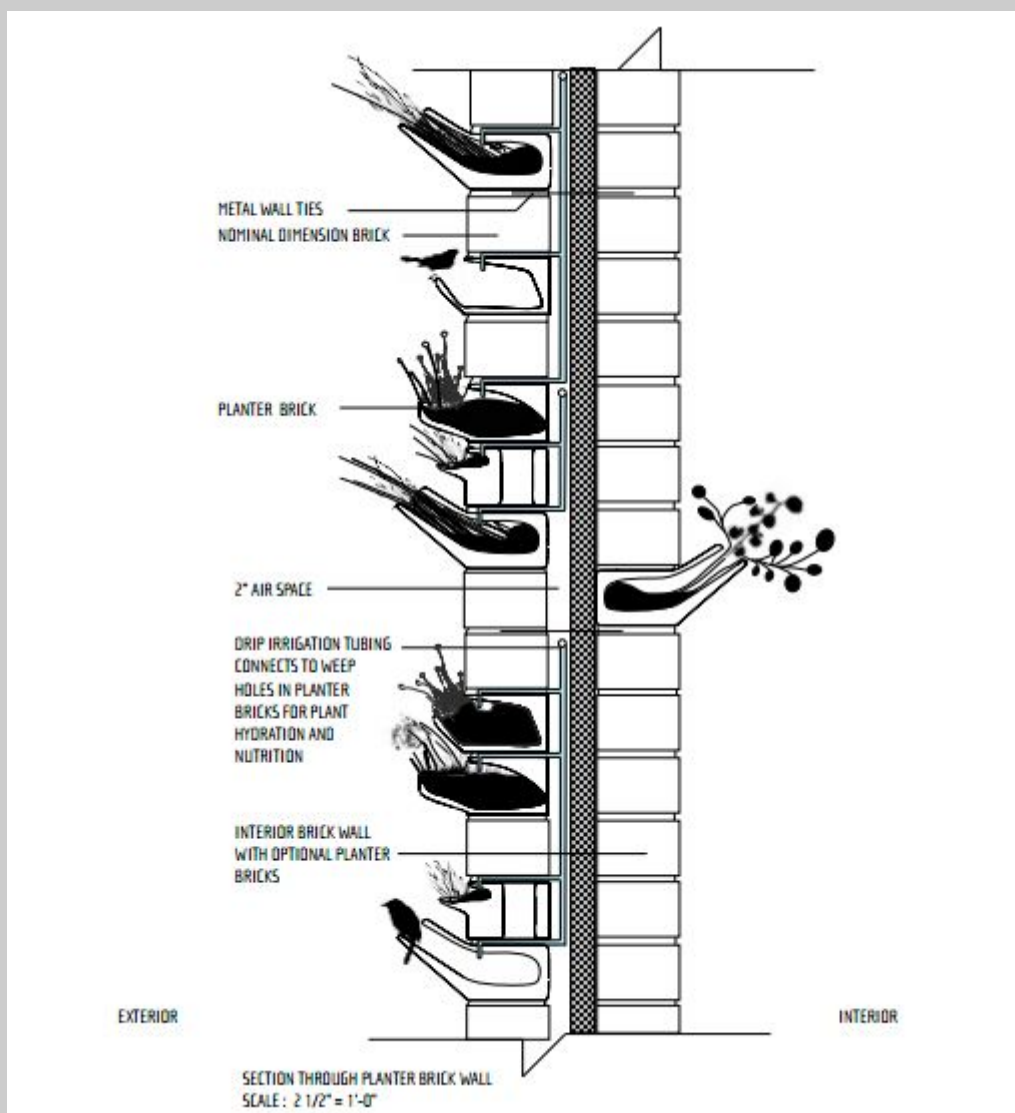
*Illustrazione 54: render di una facciata con il sistema di moduli plant bricks*





*Illustrazione 55: alcuni design dei componenti progettati*





*Illustrazione 56: sezione stratigrafica con tutti gli elementi che compongono il sistema*



*Illustrazione 57: render di dettaglio del sistema plant bricks*

# Il progetto

## Il laterizio dalla storia ai tempi d'oggi:

Il progetto riguarda un sistema modulare in laterizio.

Il laterizio è un materiale della tradizione storica italiana e specialmente dell'ambito lombardo. Riferirsi all'impiego di tale preziosa risorsa significa immergersi in un mondo della tradizione, che è testimoniato dalla storia e dai suoi monumenti e manufatti edilizi. La capanna ed il megaron per Guido Nardi sono i primi tipi in grado di riunire in se i "*fini ed i mezzi*" in "*un'attualità assoluta*", in cui tecnica ed oggetto realizzato si identificano. Parallelamente è plausibile stabilire un paragone tra il materiale laterizio e gli infiniti monumenti, artefatti, manufatti e costruzioni che si sono realizzati nella storia dell'uomo, secondo la testimonianza della storia dell'architettura, ad esempio nell'anfiteatro Flavio di Roma. Cosa sarebbe il Colosseo senza i moduli di cui è composto, come potrebbe esplicitarsi la sua consistenza e solidità materica senza un materiale così compatto ed al tempo stesso flessibile, in grado di creare arcate, pareti e pilastri? La risposta è unica è cito nuovamente Nardi, riunire in se i "*fini ed i mezzi*" in "*un'attualità assoluta*". La citazione di Nardi ed il riferimento al Colosseo sono solo due riferimenti chiamati in causa per avvalorare la tesi dell'indiscutibilità della permanenza storica che il materiale laterizio detiene in se, non riconoscere tale evidenza sarebbe una negligenza di qualunque osservatore. Oggi tuttavia non possiamo basarci solo sulla tradizione, piuttosto preferiamo dimenticarcelo. Lo spirito del nostro tempo oggi solleva oltre alle ricerche o più spesso velleità formali da parte dei progettisti Archistar anche più serie tematiche di tipo etico, legate al futuro del nostro ambiente e pianeta, ai modelli di sviluppo ed al ruolo di responsabilità sociale del sistema edilizio, che inevitabilmente si trova coinvolto sotto molti aspetti con-nell'ambiente.

Da un punto di vista di sostenibilità ambientale infatti, costruire in laterizio oggi vuol dire da un lato far riferimento a contesti estrattivi dell'argilla con conseguente consumo di risorse dall'altro vuol dire utilizzare un materiale naturale della tradizione costruttiva dove sia possibile ancora definire degli scenari di impiego ed applicazione del materiale. Questo significa che non semplicemente basti additare l'argilla quindi il laterizio come materiale di tipo estrattivo quindi con un basso contenuto di sostenibilità, piuttosto risulta decisamente più significativo riferire una riflessione su un differente modello di sviluppo "sistema" attorno a questo materiale, in modo che se ne legittimi o migliori l'aspetto di sostenibilità, sempre in relazione al suo sistema piuttosto che al materiale in se. E' da ritenersi relativa quindi ogni critica posta a questo materiale se priva di un modello di riferimento che ne giustifichi o non giustifichi la sostenibilità attuale o futura. Risulta piuttosto cruciale, ai fini di un miglioramento dell'indice di sostenibilità di questo materiale, determinare una gestione della produzione del laterizio dalla logistica alla rete commerciale di riferimento (con riferimento magari ad un sistema di trasporto differente dalla gomma, con minore impatto ambientale, ad esempio per emissioni di CO<sub>2</sub>). Oggi il laterizio a scanso di ogni equivoco, trova ancora un ampissimo impiego, per praticità, economicità, facilità di produzione, performance tecniche, lavorazione in cantiere e modularità. Fare quindi un focus su tale materiale permette di applicare differenti tipi di ragionamento sia sulla nuova architettura che sul costruito, in particolare sugli interessi di economia del cantiere, praticità di assemblaggio e messa in opera dei moduli. Ragionare e selezionare il laterizio come materiale rappresenta inoltre un ulteriore ponte di collegamento tra la tradizione storica del costruire e delle sue maestranze con i nuovi metodi tecnologici ed i nuovi ambiti applicativi.

## Il contesto, "lo scenario italiano":

Per introdurre ed articolare una riflessione sullo scenario del cantiere si è voluto incentrare il focus su due aspetti preponderanti: l'andamento del mercato edilizio, con particolare focus sul mercato dei laterizi e il processo di industrializzazione edilizia, che a momenti alterni ha costituito già da metà novecento, un processo di rinnovamento ed innovazione nel cantiere tradizionale. La commistione di questi due elementi pone le basi per lo sviluppo di nuovi processi innovativi e innovazioni applicative nel campo edilizio, dove anche la fabbricazione digitale può trovare il suo posto di rilievo. Nel Rapporto 2013: Il Sistema delle Costruzioni in Italia, di federcostruzioni, viene messo in luce tutto il comparto delle costruzioni con un report dettagliato in base ai vari segmenti di mercato. In particolare risulta di particolare interesse ai fini di questa tesi, il focus sul comparto della produzione di laterizi in Italia. Viene introdotta una scheda paragonabile ad un'analisi swat, che mette in luce i punti di forza e le criticità dei prodotti in laterizio, andando a definire molto sapientemente i plus valori e i punti di svantaggio di questo materiale:

### “PUNTI DI FORZA - Laterizi

**Materiale eco-compatibile** (per l'uomo, per l'ambiente, totalmente riciclabile).

Altissima durabilità

nel tempo (mantenimento delle prestazioni).

**Versatilità progettuale.** Vasta gamma di soluzioni tecniche e semplificazione costruttiva. E'

un materiale noto e collaudato da progettisti ed imprese.

**Prestazioni.** Capacità di configurazione ed integrazione nei sistemi ad alta efficienza energetica

di tipo passivo (inerzia termica, sfasamento ed attenuazione dei cicli termici), che garantiscono

condizioni di comfort termo-igrometrico ed acustico, oltre che di qualità dell'aria indoor e di sicurezza in caso di incendio.

### CRITICITÀ - Laterizi

**Competitività.** E' un settore radicato sul territorio, con un mercato tipicamente nazionale.

**Management.** Il tessuto industriale è caratterizzato da numerosi piccole e medie industrie, molte delle quali a gestione familiare, caratterizzate da un limitato ricorso al management.

**Innovazione.** Il laterizio, causa la sua antica origine, viene percepito come un materiale maturo

e i processi di rinnovamento in atto non avvengono in tempi rapidissimi.”

Risulta evidente da questa analisi come il laterizio sia un materiale della tradizione costruttiva italiana e come sia vantaggioso da un punto di vista tecnologico e ambientale, secondo un approccio esigenziale –prestazionale. Allo stesso tempo risulta evidente come il suo consolidamento nella prassi costruttiva italiana, nei limiti di fatto una politica industriale esortativa e allo stesso tempo nei limiti o rallenti i processi di rinnovamento ed innovazione. Di fatto la produzione italiana di questo segmento sembra quindi interessata prevalentemente al mercato interno nazionale, secondo standard qualitativi esigenziali – prestazionali rispondenti alla normativa di riferimento, e poco orientati a dinamiche di trasformazione e rinnovamento produttivo. La lentezza di un potenziale processo di rinnovamento di questa filiera produttiva, risiede in due fattori critici essenziali: il primo è dovuto alla relazione dello stesso con la cultura architettonica-edilizia italiana e con la prassi costruttiva di cantiere italiana, che di fatto rimane di stampo tradizionale e nel caso di rinnovamento, ha sempre tratto ispirazione da altri



paesi industriali, seguendone di fatto le orme con più lentezza. In questo senso il processo di innovazione del cantiere italiano tipicamente ha sempre imitato i processi trasformativi in atto negli altri paesi industrializzati occidentali, secondo un processo di metabolizzazione lento ed imitativo, tranne rari casi di eccezione. Il secondo aspetto può risiedere nella scarsa competenza di management in molte aziende della filiera, che tipicamente sono a conduzione familiare.

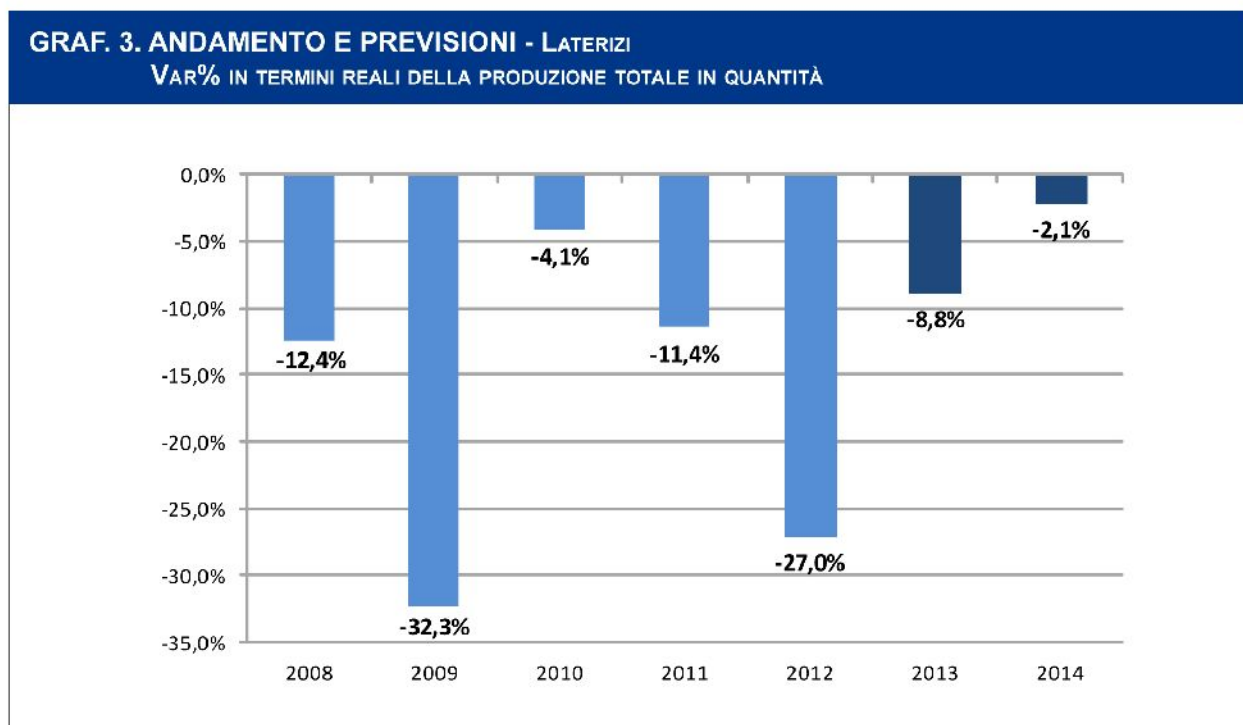
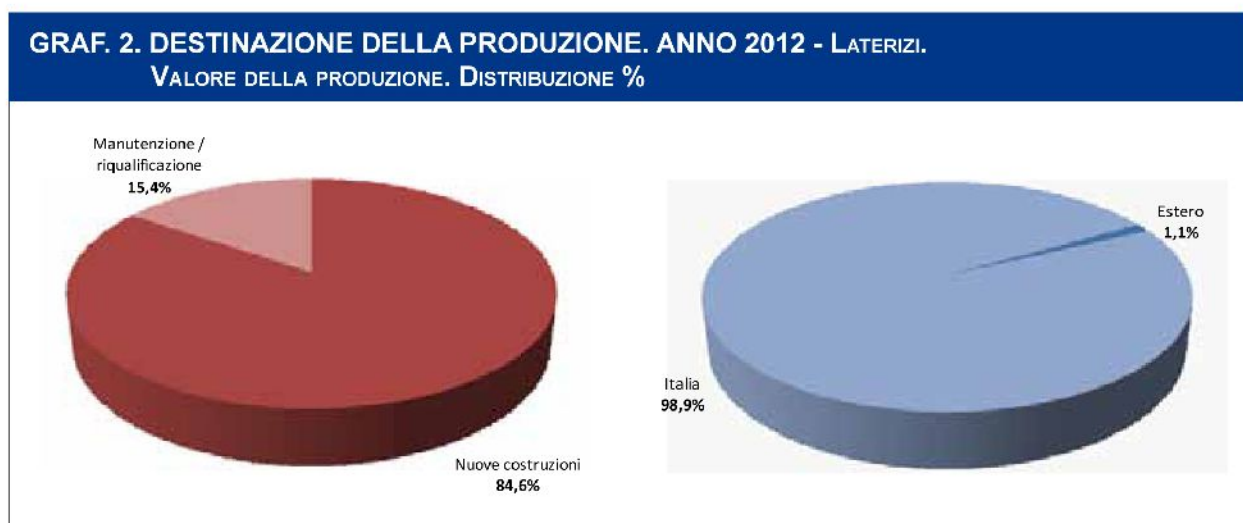


Tabella 2: tabelle in riferimento al mercato dei laterizi, anno 2012

Il grafico, tratto dal Rapporto 2013: Il Sistema delle Costruzioni in Italia, di federcostruzioni, mette in luce appunto quanto esposto. Il mercato delle esportazioni sembra aggirarsi intorno al 1.1 % della produzione nel 2012. Analogamente il secondo grafico del medesimo rapporto, mette in luce l'andamento e le previsioni di questo comparto produttivo. Risulta evidente come dal 2008, anno con -12.4%, a causa della crisi economica con dirette ricadute su quella immobiliare ed edilizia, ha avuto un minimo storico del -32.3% nell'anno seguente il 2009. Questa tendenza sfavorevole sembra essersi alleviata più nettamente nel 2010, con un ulteriore minimo del -27% nel 2012. Sembra invece essersi risolleata nel 2013 con un - 8.8%, ed un -2.1% nel 2014.

Tutto questo sembra aver relativamente invertito la rotta che si preannuncia per l'anno in corso, il 2015, i prossimi report potranno confermare o smentire questa previsione. Sempre dal medesimo report, risultano evidenti alcuni dati: "L'industria italiana dei laterizi si distingue in Europa per la numerosità delle tipologie di prodotto immesse sul mercato: elementi in laterizio destinati prevalentemente all'edilizia residenziale nei suoi diversificati comparti costruttivi (murature, coperture, divisori, rivestimenti, pavimentazioni e strutture orizzontali), oltre a elementi per arredo urbano (panchine, dissuasori di traffico, vasi, fioriere) e pezzi speciali (balaustre, mancorrenti, canne fumarie, frangisole etc.)." Il mercato di riferimento sembrerebbe riferirsi per circa un 60% alla realizzazione di laterizi per murature, circa per un 27 % per la realizzazione di coperture, pezzi speciali etc.. e circa per il 12 % per la realizzazione di componenti per solai e partizioni orizzontali.

Dal grafico risulta inoltre evidente come il settore principale di riferimento per i produttori nazionali sia per l' 84.6% per le nuove costruzioni, mentre solo per il 15.4% per il costruito.

Alcune coordinate economiche ulteriori di questo settore produttivo negli ultimi anni, mettono in luce quanto segue: " Il settore (dati 2012) conta 125 aziende e 147 stabilimenti attivi, che occupano circa 5.000 addetti. L'industria italiana dei laterizi registra nel 2012 il quinto anno di calo consecutivo: -27,0% rispetto alle quantità 2011. La produzione 2012, pari a 7,5 milioni di tonnellate, rappresenta poco più di 1/3 della produzione 2007, ultimo anno pre-crisi! La forte riduzione degli investimenti nel "nuovo residenziale", principale mercato di riferimento per l'industria dei laterizi, ha avuto effetto anche sul ridimensionamento del settore, determinando il fermo di altri 23 impianti nel 2012; dal 2007, hanno smesso di produrre ben 84 siti."

Il secondo aspetto di interesse specifico, per la definizione dello scenario italiano, è il tema della industrializzazione edilizia.

Fino all'avvento nell'industria delle costruzioni, della fabbricazione digitale, il termine industrializzazione edilizia, ha significato o quasi coinciso con il termine prefabbricazione edilizia. E' stato il caso della prefabbricazione del calcestruzzo in primis a trainare questo tipo di produzione. Parallelamente sul fronte progettuale sono sorte metodologie in tutta Europa, anche con noti esponenti italiani, sul tema della coordinazione modulare e della meta progettazione. Questi due livelli di progettazione sono stati intesi come discipline integrative alla prassi progettuale, uno per coordinare componenti standard prefabbricati tra loro in un processo sistemico, l'altro per definire un metodologia pre progettuale atta a consentire alle variabili non ancora definite numericamente ma inserite qualitativamente, di essere definite in successive fasi specificamente progettuali. Nel BIMESTRALE DELL'ORDINE DEGLI ARCHITETTI P.P.C. DI ROMA E PROVINCIA ANNO XLVIII GENNAIO-FEBBRAIO 2013, numero 105/13, dopo un breve escursus storico sulla industrializzazione edilizia italiana, emerge il potenziale della fabbricazione digitale, nel suo inserimento contestuale nel più ampio bacino della industrializzazione edilizia: " la qualità del progetto deve essere affiancata da soluzioni tecnologiche altamente performanti, economiche e di veloce realizzazione, spostando nella fase del progetto esecutivo la risoluzione puntuale degli eventuali problemi costruttivi e rivolgendosi quindi ad un mercato, quello della prefabbricazione, abbandonato dagli anni '70 in ragione principalmente dell'omologazione dei risultati formali che l'industria di quel periodo storico proponeva."

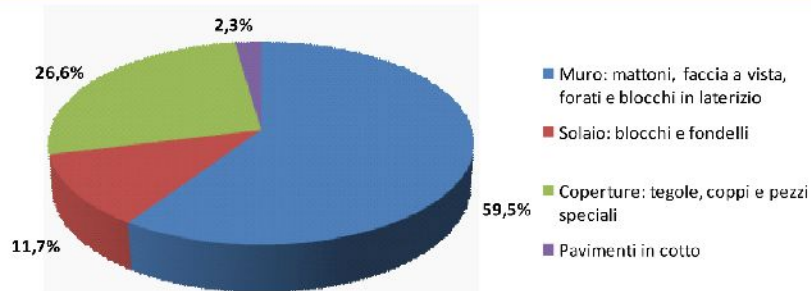
Emerge in queste sintetiche righe il problema principale che queta prassi produttiva e le relative metodologie progettuali portavano con se ovvero la standardizzazione dei risultati, l'omologazione delle forme e degli spazi, essendo queste subordinate gerarchicamente agli aspetti costruttivi del progetto. In seguito riprende: " il tema dell'industrializzazione delle costruzioni è stato da sempre legato ai termini di unificazione, standardizzazione

normalizzazione, ma l'introduzione da oltre un ventennio delle macchine a controllo numerico, dei sistemi integrati di lavorazione e l'evoluzione delle strumentazioni Cad-Cam flessibili e versatili consentono ormai oggi una prefabbricazione prototipica che garantisce qualità delle realizzazioni e costi e tempi certi spostando fuori opera le problematiche del cantiere.

In queste successive affermazioni, emerge il carattere dirompente ed innovativo che le tecnologie cam cad, di "prefabbricazione prototipica" ovvero di fabbricazione digitale portano con se. Il primo aspetto è l'alto livello di flessibilità e versatilità delle tecnologie, che non richiedono processi di avviamento, come la creazione di stampi, garantiscono appunto l'applicazione su una vasta gamma di forme anche molto variegate. Il secondo aspetto che emerge è la garanzia ed affidabilità dei tempi di produzione. Questa certezza permette infatti un dato certo nel crono programma di cantiere, che può essere così realizzato in tempi più sicuri non a discapito della precisione e dell'esecuzione dell'opera. Il terzo aspetto è la minore incidenza della variabile costi, rispetto alle opere tradizionalmente eseguite. Questo può essere vero con impianti produttivi, che abbiano a disposizione delle tecnologie molto efficienti, per governare un'economia di scala adeguata ad abbattere i costi, competendo in modo concorrenziale anche su questa variabile.

**GRAF. 1. ARTICOLAZIONE PER PRINCIPALI COMPARTIE. ANNO 2012**

VALORE DELLA PRODUZIONE. DISTRIBUZIONE %



**TAB. 2. PREVISIONI - LATERIZI - CONSUNTIVI**

	2013	2014
<b>Var. % produzione in termini reali (in quantità)</b>	-8,8%	-2,1%
di cui:		
per esportazione	-8,8%	-2,1%
per mercato interno	-8,8%	-2,1%
<b>Numero addetti</b>	-5,0%	-2,0%

Tabella 3: tabelle del mercato dei laterizi, caso 2, anno 2012



## Concept:

Il concept consiste nell'elaborazione di un sistema flessibile di moduli in laterizio, che sfruttando la tecnologia disponibile già oggi, di stampa 3d per argilla, crei dei tavolati o pareti in laterizio site specific ovvero realizzabili ad hoc per ogni contesto e per ogni manufatto edilizio, secondo gli intenti e le ambizioni del progettista interessato in questo nuovo processo produttivo. Il concept si materializza quindi in un sistema ed in un processo produttivo del laterizio innovativo (secondo quanto la regola dell'arte produttiva di questo tipo di componenti oggi impiega) che permette di realizzare pareti differenti dallo standard, secondo un processo di materializzazione di funzioni accessorie, decorazioni supplementari o semplicemente inserti e pezzi speciali da inserire in un tavolato tradizionale. Il sistema è quindi il concetto di parete, che quindi è rivoluzionato nei suoi aspetti produttivi e nei suoi aspetti funzionali e o decorativi etc. però si fonda sulla possibilità di realizzare tutto questo a partire da moduli ad hoc. I moduli in laterizio ovvero i "mattoni", non sono realizzati mediante trafilatura ovvero estrusione, essiccazione, cottura, sono invece realizzati mediante stampa 3d di argilla, che ad oggi permette un grande grado di composizione ma difficilmente è attuabile secondo un processo seriale, almeno non ancora.

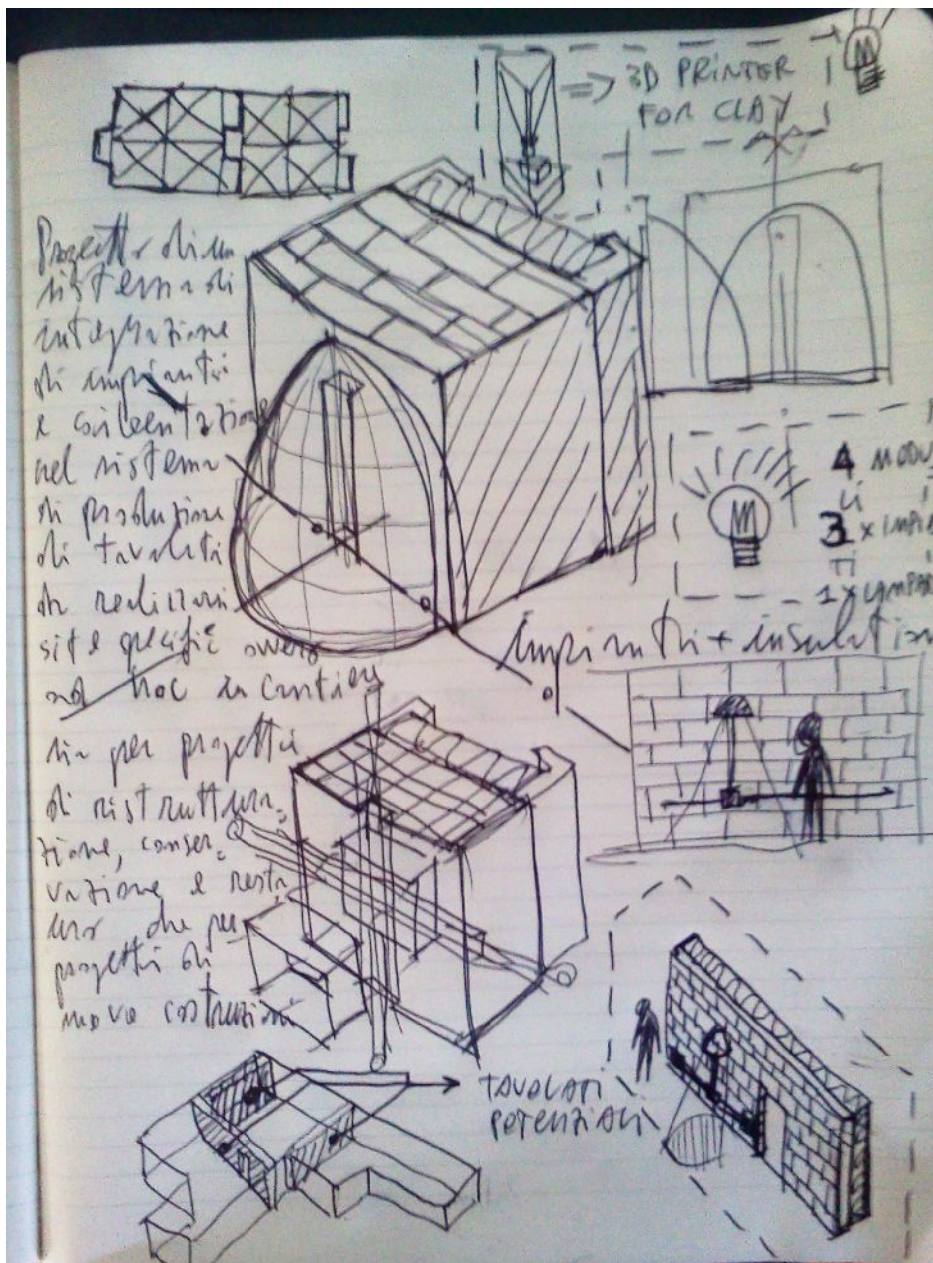


Illustrazione 58: Schizzi ed appunti progettuali

I moduli sono quindi il punto di partenza per lo sviluppo del concept, in parallelo alla loro relazione nel sistema parete. Si è voluto per tanto procedere in modo analitico rispetto ad un quadro di esigenze e prestazioni tipiche di un laterizio, con l'aggiunta di funzionalità tipiche del sistema parete. Il concept individua così delle funzionalità basilari da integrare:

- integrazione della coibentazione
- integrazione degli impianti, in particolare modo delle canaline e scatole di derivazione elettriche

Il concept inoltre individua anche funzionalità per modo di dire sia estetiche che funzionali:

- integrazione di un lampadario in laterizio, con relativa canalizzazione di supporto per il punto luce.

Il concept approfondisce in questo modo due aspetti tipici di un sistema parete ovvero gli impianti elettrici ed i punti luce applicabili e lo strato di coibentazione, integrando nei moduli stessi la sottostruttura che possa supportare e alloggiare il materiale coibente. La tecnologia utilizzata permette infatti di personalizzare ogni volta il disegno degli elementi tecnici senza incorrere in costi di avviamento come stampi od altro inoltre le stampanti per argilla (tra cui la bid delta wasp presenta al più lab del Politecnico di Milano) permettono di stampare singoli componenti in laterizio in scala 1:1, relativamente ad un laterizio per l'edilizia.

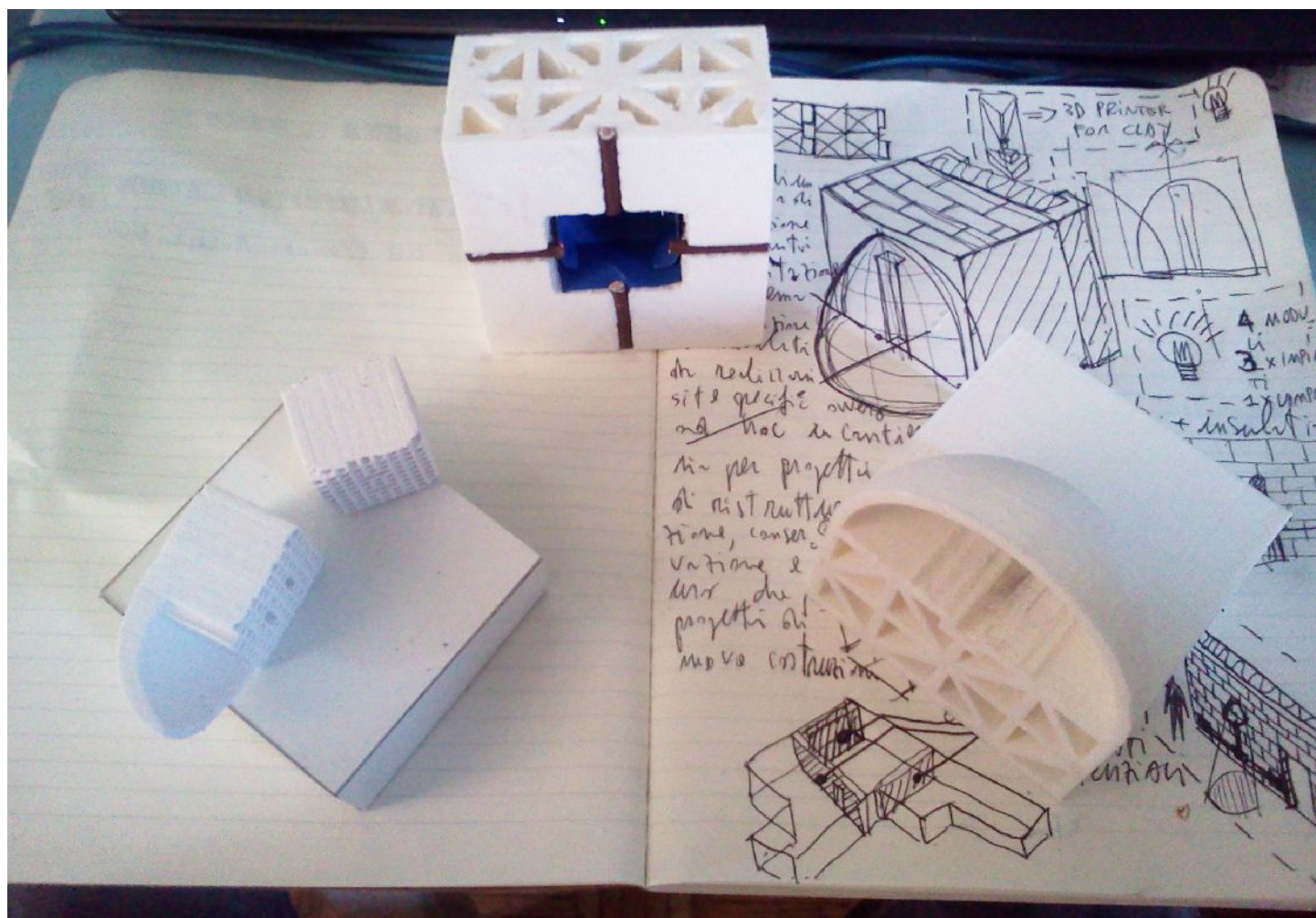


Illustrazione 59: Schizzi, appunti progettuali e primi prototipi in scala realizzati in stampa 3d FFF



## Il Processo cosa permette in generale:

Il sistema permette in generale di realizzare pareti in laterizio ad hoc. Questo significa che quasi ogni aspetto funzionale, decorativo, estetico, impiantistico, termoigrometrico, strutturale, esemplativo etc., può essere preso in esame e può essere realizzato per un impiego pratico all'interno della sistema parete. In generale è quindi possibile intervenire su quasi tutti gli aspetti che caratterizzano il sistema parete ed i suoi bisogni, potendo fornire una risposta di tipo materiale con la tecnologia di stampa 3d per argilla, successiva essiccazione e cottura, ottenendo i moduli in laterizio da assemblare in cantiere. Si procede così col fornire un elenco di potenziali ambiti applicativi di questo processo, che non vuole essere definitivo, semplicemente vuole offrire un panorama di scelte, un orizzonte di impieghi pratici possibile, che questo processo può fronteggiare:

- realizzazione di mensole, modanature, cornici, fregi e sistemi decorativi con la parete.
- realizzazione di binari o alloggiamenti per impianti di tipo elettrico, idraulico, energetico, etc. direttamente con la parete
- realizzazione di sistemi di supporto integrato secondo il pacchetto murario, i suoi strati, siano di coibentazione, di barriera al vapore, di insonorizzazione acustica etc. direttamente con la parete.
- realizzazione di sistemi di supporto per l'alloggiamento di quadri, creazione di vani ai fini abitativi per l'alloggiamento di oggetti, creazione di pareti attrezzate dalle geometrie più articolate, creazione di contenitori in forma di vaso per piante, oggetti etc., sempre direttamente integrati con la parete.
- creazioni di pareti verdi, con integrati dei sistemi di accoglimento della vegetazione, direttamente con la parete (in abbinamento a sistema di irrigamento e smaltimento acqua sovrabbondante etc.)
- integrazione di sistemi audio da incasso, da realizzare direttamente con la parete
- realizzazione di sedute ed oggetti d'arredo, da realizzare direttamente con la parete, come sedute, tavolini, etc..

In generale è potenzialmente possibile agire secondo un *modus operandi* che è quello tipico dell'integrazione, di funzioni, oggetti, decori, elementi tecnici etc. questo permette di accessorizzare il sistema parete in un modo praticamente infinito e libero, secondo gli unici vincoli imposti dal procedimento di stampa (processo in evoluzione, il cui stato dell'arte è ancora in fase di sviluppo incrementale), questi vincoli saranno approfonditi a breve in questo trattato di tesi, precisando che ogni giorno la ricerca e la sperimentazione in questo ambito produttivo migliora in modo sempre crescente e quindi a breve si prospetteranno con molta probabilità, più produttori di tali tecnologie e che il livello qualitativo dei macchinari e dei loro vincoli sarà con molta probabilità sempre più performante, permettendo di ottenere risultati sempre più soddisfacenti.

## **Il sistema cosa permette nello specifico:**

Il sistema nello specifico vuole formulare una risposta, ai più frequenti interventi edilizi in ambito di ristrutturazione (termine generico, in questo caso con accezione sia alla ristrutturazione, che al restauro che al procedimento conservativo) e in ambito di nuova costruzione. Il tipico intervento in uno di questi due casi è la realizzazione di un differente assetto planimetrico dell'immobile o di parte di esso, spessissimo con la realizzazione di utilissimi vani accessori, come bagni per disabili e relativi antibagni, realizzazione di disimpegno per distribuire in modo diverso i vani presenti, così come comunissimi interventi di semplice demolizione e ricostruzione di tavolati, secondo i più disparati bisogni abitativi, di cui progettista diviene interprete e traduttore. Secondo il tipico processo che è la costruzione di una nuova parete, sia derivante da una demolizione precedente o semplicemente un'aggiunta all'esistente, il procedimento esecutivo e i bisogni principali non mutano sostanzialmente. Ogni parete generalmente è fornita di impianti elettrici ad esempio e molto spesso, visti i riferimenti normativi sul risparmio energetico, in caso di parete perimetrali o altro, si interviene abbinando uno strato coibente, secondo differenti indici di trasmittanza che si vogliono raggiungere, per stratigrafia, localizzazione geografica e possibilità economica. Detto questo, il sistema vuole formulare una delle innumerevoli risposte, che questo processo possa mettere in atto ovvero intervenire sugli impianti elettrici e sullo strato coibente di un tavolato tipico, integrando alcuni aspetti dimensionali e di alloggiamento nei moduli in laterizio ovvero nel sistema parete. A completamento di questo metodo si è voluto procedere anche con la formulazione di un modulo che permettesse la materializzazione di un modulo lampadario da parete, visto il rapporto con il sistema di alloggiamento elettrico. In questo caso specifico si sono quindi presi in esame solo pochi aspetti legati al cantiere, nello specifico di una parete, è auspicabile ricordare però che questo procedimento di integrazione per funzioni, parti, decorazioni, elementi tecnici, etc. è applicabile secondo moltissimi dei problemi e sotto problemi che un progetto ed un cantiere di ristrutturazione (si intenda anche il restauro e o il progetto conservativo) e o nuova costruzione possa mettere in atto in riferimento a qualunque muro, perimetrale o interno all'abitazione<sup>3</sup>.

---

<sup>3</sup> L'unico aspetto limitativo è il fattore strutturale secondo questo tipo di analisi, che possa pregiudicare o no l'impiego di muri perimetrali realizzati con stampa 3d secondo gli standard qualitativi richiesti dalla normativa. Ad oggi non sussiste ancora uno studio specifico che attesti a moduli in laterizio realizzati con questo processo produttivo un indice di prestazione entro cui classificare il componente.



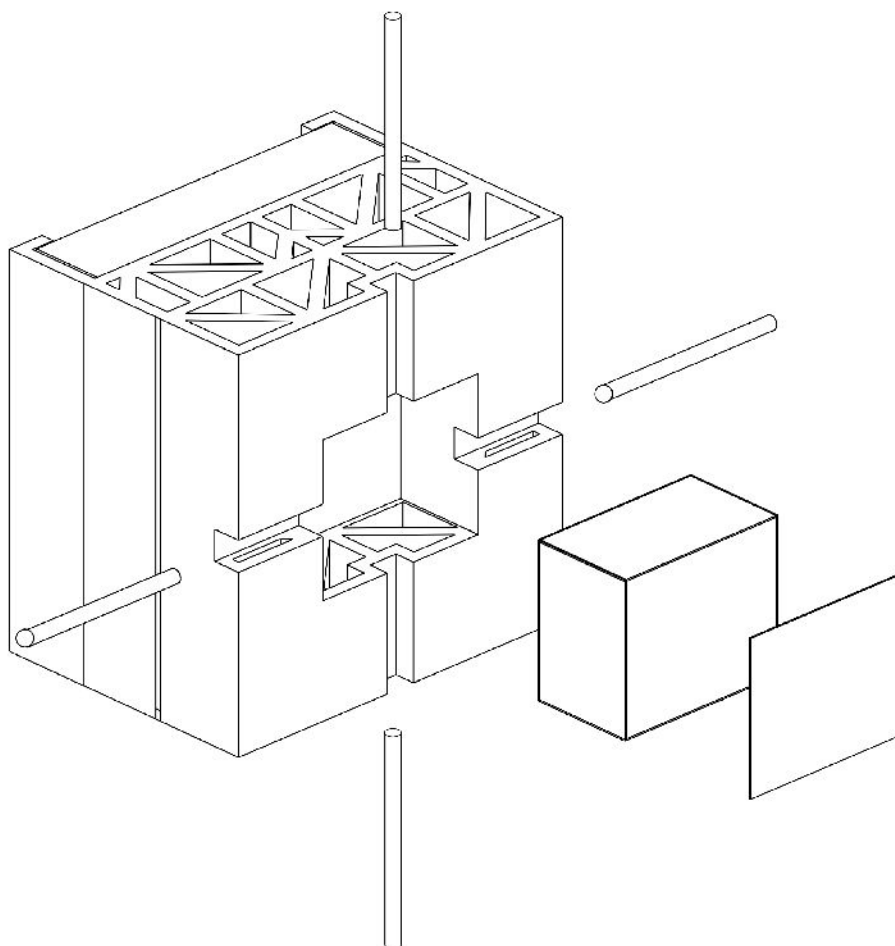
## I componenti del sistema:

Il sistema come si accennava nei paragrafi precedenti è composto da moduli ad *hoc* ovvero i componenti del sistema. Questi componenti, secondo quanto determinato dal concept, sono quattro:

- Modulo 1: Modulo lampadario con canalizzazione verticale
- Modulo 2: Modulo con quattro canalizzazioni e incavo per scatola di derivazione
- Modulo 3: Modulo con una canalizzazione verticale
- Modulo 4: Modulo con una canalizzazione orizzontale

Tutti e quattro i moduli sono provvisti di un sistema integrato di supporto, per lo strato coibente.

- Canalizzazioni elettriche diametro 8 mm, tubo corrugato per impianti elettrici.
- Scatola di derivazione profondità 70 mm, dimensioni 100mm x 120 mm
- Pannelli di coibentazione profondità 50 mm



*Illustrazione 60: assonometria del sistema in particolare del modulo 2 con elementi tecnici interposti*

## Vincoli dimensionali:

I vincoli dimensionali del sistema dipendono da:

- coordinazione modulare con gli elementi tecnici esistenti ed i moduli standard
- compatibilità con i vincoli di stampa e del piano di lavoro possibile
- compatibilità con le specifiche di progetto dei componenti

Questi vincoli verranno esposti nello specifico dei paragrafi successivi, in questo paragrafo si intende invece fare un focus sull'importanza di integrare e rendere compatibili i vincoli di progetto e di contorno<sup>4</sup>.

Il principio legato alla coordinazione modulare con l'esistente ha l'obiettivo di trovare sinergia e compatibilità dimensionale tra il componente che si progetta ed i componenti standard già in produzione dalle aziende di riferimento. La coordinazione modulare in questo specifico contesto di riferimento significa progettare un componente che rispetti e si renda compatibile con i valori dimensionali dei moduli esistenti, in particolare ci si riferisce alla produzione di laterizi già sul mercato, in relazione ai componenti in laterizio da progettare. Parallelamente la coordinazione modulare ha un suo senso tra gli elementi tecnici da integrare nel componente ed il componente stesso. Nello specifico ci si riferisce alle scatole di derivazione standard, alle canalizzazioni con tubi corrugati o altri tipi di tubo, ai pannelli di polistirolo e alle sorgenti luminose da impiegare per il componente con integrato il lampadario.

Il principio legato ai vincoli di stampa vuole ottenere vincoli derivanti dai processi di stampa, utili a comprendere come già oggi si possa organizzare una produzione di componenti stampati 3d in laterizio. In particolare ci si può riferire ai limiti del piano di lavoro, ai vincoli legati ai sottosquadra, ai vincoli legati al processo di stampa, in particolare dovuti al tipo di estrusore ad ai motori utilizzati, così come al retraction o agli spessori delle pareti del modulo in oggetto.

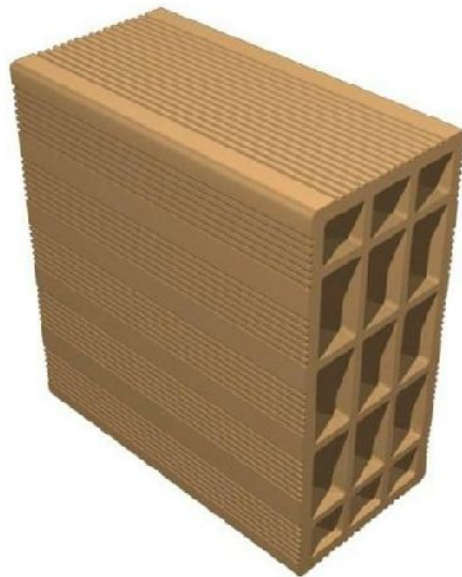
Il principio legato alle specifiche di progetto pone l'obiettivo di realizzare dei componenti secondo i fabbisogni degli utenti finali, tradotti da un progettista. Questo tipo di vincoli crea un collegamento non semplicemente deduttivo delle necessità di chi abita un immobile ma crea anche un aspetto interpretativo, mediato dal progettista, che permette al componente esecutivo nel suo sistema di riferimento, di rispondere a reali istanze e necessità di chi dovrà vivere l'alloggio con i suoi componenti, sistemi e unità tecnologiche di riferimento.

---

<sup>4</sup> Vincoli di stampa e vincoli legati alla coordinazione modulare tra produzione esistente standard, elementi tecnici e componente progettato.

## Coordinazione modulare con moduli standard laterizio:

Il sistema prevede una efficace coordinazione modulare anche con elementi tecnici in laterizio (mattoni) già in produzione in modo standard. Per ovviare a tale tipo di coordinazione si è selezionato un vasto numero di produttori di laterizio e si è individuato un formato dimensionale che sia compatibile con i moduli da progettare e prototipare. Tale coordinazione permette di abbinare ad una produzione ad *hoc* di stampa 3d, dei manufatti esistenti in modo che il prezzo complessivo di un intervento di tipo misto, non alteri troppo le economie di cantiere o comunque le alteri ove necessario. In questo senso la produzione industriale del laterizio, con i suoi tempi rapidi, i suoi costi accessibili ed anche altri aspetti performativi, ad oggi non può essere sostituita da una produzione basata sulla stampa 3d di argilla, ne avrebbe senso ricercare questa finalità, almeno non oggi. Sono stati individuati innumerevoli formati di per mattoni in laterizio, portanti, di tamponamento e forati per tramezzature, questo ha reso più complesso l'individuazione di un formato tipo che rappresenti lo standard a cui riferirsi per un intento di coordinazione modulare. In questo senso si è privilegiato il riferimento al sistema dei vincoli imposti dal processo di stampa 3d e soprattutto dal volume e massa di stampa limite, da ciò ne è scaturita l'individuazione di un formato di tipo quadrato e con un valore di profondità medio ripetto ad ad uno dei lati del quadrato<sup>5</sup>. Si è così individuato un formato ideale di riferimento (appurando che esiste in commercio) di 250 x 250 x 120/125 mm (senza contare eventuali parti a sbalzo accessorie quali il vano che contiene l'isolamento ed il solido lampada etc..). Alternativamente ad un abbinamento di coordinazione modulare tra i laterizi già in produzione e quelli da realizzare mediante stampa 3d di argilla, è plausibile ipotizzare una produzione mista a tutto vantaggio di chi detenga entrambe le tecnologie, che permetterebbe la creazione di nuovi formati secondo i processi di produzione standard, da abbinare a pezzi speciali realizzabili mediante stampa 3d. Questo tipo di nuova coordinazione potrebbe essere applicato da società ed imprese operanti nel laterizio, ma dipenderebbe sostanzialmente da interessi sia produttivi che di tipo economico - commerciale<sup>6</sup>



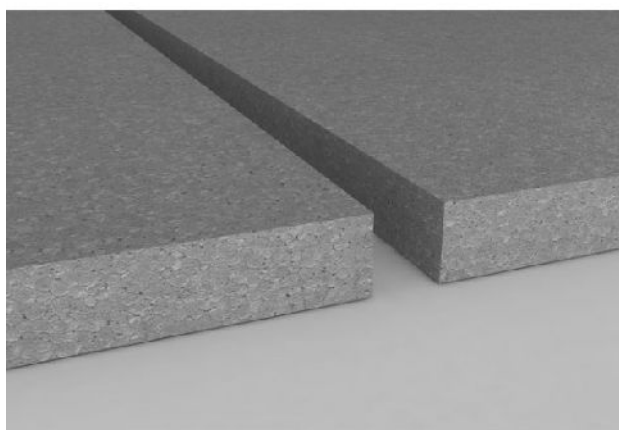
*Illustrazione 61: Laterizio tipo standard, prodotto per estrusione di argilla*

5 Per connotare maggiore stabilità in fase di stampa (valore Y) e per connotare maggiore praticità e funzionalità nella fase di design (valore Z)

6 Più in generale al sistema di proposta ed offerta relativamente al proprio mercato di riferimento. La tecnologia rimane in questo senso un mezzo a cui si debba trovare un fine, il mercato può suggerire o richiedere molti ambiti applicativi per esempio.

## Coordinazione modulare con moduli standard coibenti:

La coordinazione modulare rispetto ai moduli coibenti ha tenuto in considerazione i principali produttori di materiali coibenti e più in particolare quelli che producono e commercializzano EPS ovvero polistirene estruso, nei vari formati di riferimento. Va tenuto in considerazione che il polistirene estruso è un materiale molto comune che si trova in differenti formati ma oltre a questa disponibilità dimensionale, sempre con tecnologie a controllo numerico<sup>7</sup>, è possibile realizzare sotto formati ideali per essere inseriti negli alloggiamenti progettati e realizzati, per ospitare tale fondamentale strato. In questo senso nell'ottica di realizzare dei moduli ad *hoc* misti con moduli già in produzione, è assolutamente ipotizzabile realizzare, anche per elementi tecnici e strati come il polistirene espanso in pannelli, dei moduli ad *hoc* ove necessari. In questo modo si potrebbe abbinare ai dei pannelli riferiti ad una produzione standard, anche dei pannelli debitamente sagomati in modo che anche in prossimità di pezzi speciali stampati in 3d, vi possa essere una continuità dello strato coibente che si adatti ai vincoli e le geometrie dei pezzi stampati 3d, questo è possibile appunto grazie a tecnologie a controllo numerico. In ogni caso si sono analizzati i principali formati di riferimento nel panorama della produzione di EPS espanso estruso e si è optato per l'individuazione di un pannello la cui quota massima o minima di riferimento ad esclusione della profondità fosse compatibile con un modulo in laterizio da realizzare in una geometria realizzabile con il volume di stampa di 400 di diametro x 600 mm, da realizzarsi quindi tramite uno o più pezzi atti ad ospitare il pannello in EPS espanso estruso. Il pannello individuato ha la quota di riferimento di 500 mm ed una profondità di 50 mm. Si è preso quindi a riferimento un pannello in produzione di 500 x 1000 x 50 mm, con questo pannello di riferimento si potrebbero ricavare così dei sotto moduli semplici (ricordando che il modulo in laterizio individuato è 250 x 250 x 120/125 mm) di forma rettangolare da alloggiare nei moduli da realizzare in stampa 3d. Alternativamente il pannello in EPS potrebbe essere alloggiato nella composizione di più moduli ad hoc o seriali o stampati in 3d atti ad ospitare questo particolare strato coibente<sup>8</sup>.



*Illustrazione 62: Pannelli in EPS tipo standard*

<sup>7</sup> In particolare ci si riferisce al taglio tramite filo a caldo del polistirolo, con macchinari CNC

<sup>8</sup> Secondo il principio di integrazione e di coordinazione modulare, che ricordo è più sensato in produzioni che non abbiano eccessivi costi di avviamento come la realizzazione di stampi etc. In ogni caso sono due principi validi se applicati all'innovazione nel contesto edilizio, dove l'integrazione di funzioni può giocare un ruolo ordinatore in molti processi, idem per la coordinazione modulare.



## Coordinazione modulare con moduli standard elettrici:

Per ovviare alla coordinazione modulare in riferimento agli elementi tecnici elettrici si è optato per individuazione di elementi standard da non modificare in modalità ad *hoc*, visto il ridotto ingombro dimensionale e quindi la facilità di integrazione, e vista la difficoltà e l'insensatezza di dover replicare questi elementi in valori e geometrie dimensionali differenti<sup>9</sup>. I valori dimensionali di questi elementi tecnici individuati sono: tubi corrugati da 8 mm e una scatola di derivazione di 120 x 100 x 70 mm.

Ovviamente sul mercato ed in produzione, sono presenti differenti tipologie di scatole di derivazione e canalizzazione con i relativi valori e geometrie dimensionali. E' quindi possibile abbinare ad una produzione di laterizi stampati in 3d ad *hoc*, una molteplicità di elementi tecnici in produzione di tipo elettrico, con i vari vincoli dimensionali che questi comportano. In tal senso il processo di integrazione di elementi tecnici elettrici può trovare un tipo di integrazione molto articolato ed il successo di tale procedimento si esplica nella possibilità di modellare vani ed alloggiamenti atti ad ospitare tali elementi in modo diretto ed estremamente funzionale e sinergico.



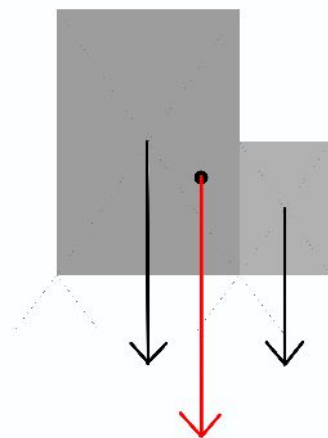
*Illustrazione 63: scatola di derivazione tipo standard*

---

<sup>9</sup> Ad esempio con tecnologie di additive manufacturing come la stampa 3d di filamenti plastici (FFF - FDM) per esempio

## Equilibrio statico dei moduli:

L'equilibrio statico di un setto dipende da differenti fattori, in *primis* la realizzazione di un baricentro complessivo dell'oggetto parete, interno alla parete stessa (tradizionalmente la parete ha un buon piano di appoggio, è planare, è verticale ed in ultima istanza è solidale con pavimento e-o soffitto e-o pareti ortogonali o comunque inclinate ad essa). In secondo luogo per un buon equilibrio statico è opportuno che anche i singoli moduli in laterizio abbiano una buona solidità tra loro, con opportuni giunti e letti di malta<sup>10</sup> e che abbiano una solidità ed equilibrio in quanto corpi rigidi già come singoli pezzi. In questo senso non è impossibile immaginare moduli in laterizio o altri materiali a sbalzo, che di per se non basterebbero a garantirne l'equilibrio, si vuole piuttosto proporre un metodo di riferimento che miri all'eliminazione di sbalzi eccessivi, per permettere un equilibrio complessivo del sistema parete e dei singoli moduli, in modo da risultare agile e senza l'utilizzo di casseri, sostegni o puntelli accessori. Per realizzare quindi una parete in laterizio in equilibrio sia complessivamente che secondo un'analisi statica dei singoli moduli, si proporrà una metodologia sia empirica che scientifica. Si è appurato sperimentalmente che in presenza di una massa uniforme ovvero concentrata in modo uniforme nel volume di riferimento, si possa ritenere che uno sbalzo ammissibile senza la preclusione dell'equilibrio del singolo modulo, risulti essere maggiorabile di un 40% rispetto alla massa del corpo rigido, sempre che questa massa supplementare a sbalzo, sia uniforme rispetto alla massa di origine e sporga appunto di un 40% in più. In questo caso si tenta di fornire un breve e poco esaustivo prontuario di riferimento per moduli realizzabili in stampa 3d in laterizio infatti il caso di massa uniforme a sbalzo rispetto la massa di origine non è atipico ma neanche l'unico caso che si possa presentare. In generale infatti per ottenere un'analisi statica del modulo bisognerebbe valutare il baricentro ed appurare che il medesimo non sia eccentrico rispetto all'appoggio più vicino di riferimento. Per realizzare quindi un'analisi di equilibrio statico di un modulo complesso, secondo geometria e distribuzione di massa uno dei metodi più esaustivi è l'utilizzo di software adatti a tale scopo.



*Illustrazione 64: Schema baricentrico tipo di un corpo con oggetto*

<sup>10</sup> Da evitarsi assolutamente l'allineamento a sorella

## **Vincoli di stampa 3d per argilla:**

Pedr poter realizzare un oggetto stampabile con la tecnologia di stampa 3d per argilla attraverso la stampante: big delta della società wasp, vanno tenuti in considerazioni i seguenti vincoli:

-il materiale argilloso è estruso da un estrusore che ha un diametro costante<sup>11</sup>, è bene quindi considerare lo spessore degli oggetti da stampare o con uno spessore pari al diametro o con un multiplo di tale dimensione. Nello specifico si adopera un estrusore da 3mm e spessori degli oggetti multipli di tale quota (in particolare 9 m mediamente).

-Il materiale estruso argilloso non è solido quindi il rischio che la struttura progressivamente stampata collassi esiste. Per ovviare a tale problema è bene adoperare negli oggetti da stampare numerosi punti di contatto tra le pareti interne ed esterne dell'oggetto da stampare, in modo che la stereometria dell'oggetto ne determini un suo sostegno progressivo durante il processo di stampa<sup>12</sup>. E' ipotizzabile in ogni caso realizzare delle strutture di sostegno con pareti sottili (il più sottile possibile) che permettano una distribuzione degli sforzi dell'oggetto durante il processo di stampa e che vengano eventualmente rimosse successivamente alla essiccazione o cottura. Nello specifico nei prototipi realizzati si è optato per questo stratagemma per ovviare al collasso.

-Il materiale argilloso estruso rischia un collasso anche rispetto a sbalzi eccessivi, è quindi buona norma realizzare sezioni nel piano XZ o YZ che non siano inferiori ad un angolazione di 55°, sotto questa soglia il collasso è probabile. In tal senso sono preferibili sezioni di tipo ad arco a sesto acuto piuttosto che a tutto sesto o comunque sono preferibili curvature la cui tangente non sia inferiore ai 55°.

-Altri fattori fondamentali sono il piano ed il volume di lavoro disponibile. Nello specifico nella tecnologia a disposizione per la realizzazione dei prototipi il piano di lavoro è di 400 mm di diametro (piano circolare) e 600 mm di altezza. L'azienda produttrice sta prototipando diversi macchinari con differenti formati di stampa anche molto superiori.

-In relazione al volume di stampa c'è anche il fattore legato alla massa massima di argilla, disponibile per l'estrusione. Nello specifico la stampante a disposizione per la realizzazione dei prototipi ha un serbatoio la cui capacità è di 7 kg.

-In relazione al processo di essiccazione e cottura va inoltre tenuto in considerazione che tra l'evaporazione acque determina dei ritiri dimensionali di circa il 10%. L'affidabilità di tale dato numerico e del comportamento isotropo del ritiro in tutte e tre le direzioni in modo proporzionalmente identico, rimane un fattore da verificare. Nel processo di stampa si opterà per un primo processo di stampa che non tenga conto dei ritiri, verrà piuttosto esaminato il ritiro percentuale e misurato, nelle 3 direzioni di riferimento spaziale. Questo permetterà di ricavarne un dato, seppur statisticamente poco rilevante, utile ad un potenziale successivo secondo processo di stampa con valori maggiorati in modo proporzionale rispetto ai ritiri misurati.

---

11 Gli estrusori ed i relativi diametri sono intercambiabili tra una stampa e la successiva

12 questo tipo di accorgimento è stubiabile nelle sezioni planari progressive dell'oggetto. studiando l'oggetto da questo punto di vista si può ottenere una progettazione adeguata, attualmente con l'utilizzo del buon senso e non con un metodo deterministico, nel piano XY.

## **I moduli:**

### **Modulo 1 - descrizione tecnica:**

Il modulo è un oggetto inedito formato da un normale laterizio ed uno sbalzo aggettante, costituito dal corpo del lampadario. Il modulo permette così di integrare in un unico oggetto il laterizio per il paramento murario da realizzare, il lampadario integrato e degli accorgimenti tecnici di supporto per contenere la coibentazione, in apposito alloggiamento; e per ottenere l'alloggiamento degli impianti elettrici ai fini dell'alimentazione della lampada. Il modulo è pensato come singolo oggetto ma può essere realizzato anche in due parti, successivamente componibili verticalmente, uno sull'altro, tramite letto di malta. Il modulo è così pensato come elemento da finire in cantiere, tramite intonacatura, parziale o totale, a seconda delle esigenze progettuali ed estetico-illuminotecniche che il progettista desidera ottenere.

La nervatura interna del modulo è pensata che garantire una risposta isotropica nelle due direzioni planari, adottando angolature a 90° e 45°. Questo accorgimento non sarà testato ma dovrebbe muoversi nella direzione di un miglior fattore di resistenza ai carichi orizzontali. Il modulo è inoltre pensato per la parte "lampadario" in aggetto, con particolare riguardo agli sbalzi limite del processo di stampa impiegato, non superandoli. Il modulo è inoltre stato successivamente realizzato come la somma di due sotto moduli componibili verticalmente, sempre per ovviare a procedimenti produttivi e vincoli ad essi associati di stampa 3d per argilla. Il modulo 1 è pensato per essere combinato con il modulo 2-3.

### **Modulo 2 - descrizione tecnica:**

Il modulo 2 costituisce un pezzo speciale, pensato per nuove costruzioni o edifici esistenti, dove sia necessario, per motivi di efficienza e funzionalità o per motivi di salvaguardia e conservazione di paramenti esistenti, la realizzazione di un sistema integrato impiantistico ed edilizio senza tracce con relativa rottura, come ad esempio per quello elettrico. Il modulo detiene infatti un alloggiamento specifico di una scatola di derivazione classica per impianti elettrici, con le relative 4 sedi di uscita. Il modulo è così configurato come nodo della rete elettrica, in una visione di integrazione dei componenti elettrici, nel laterizio stesso, senza il bisogno di dover creare nuove tracce. Il modulo 2 è pensato per essere combinato con il modulo 1-3-4.

### **Modulo 3 descrizione tecnica:**

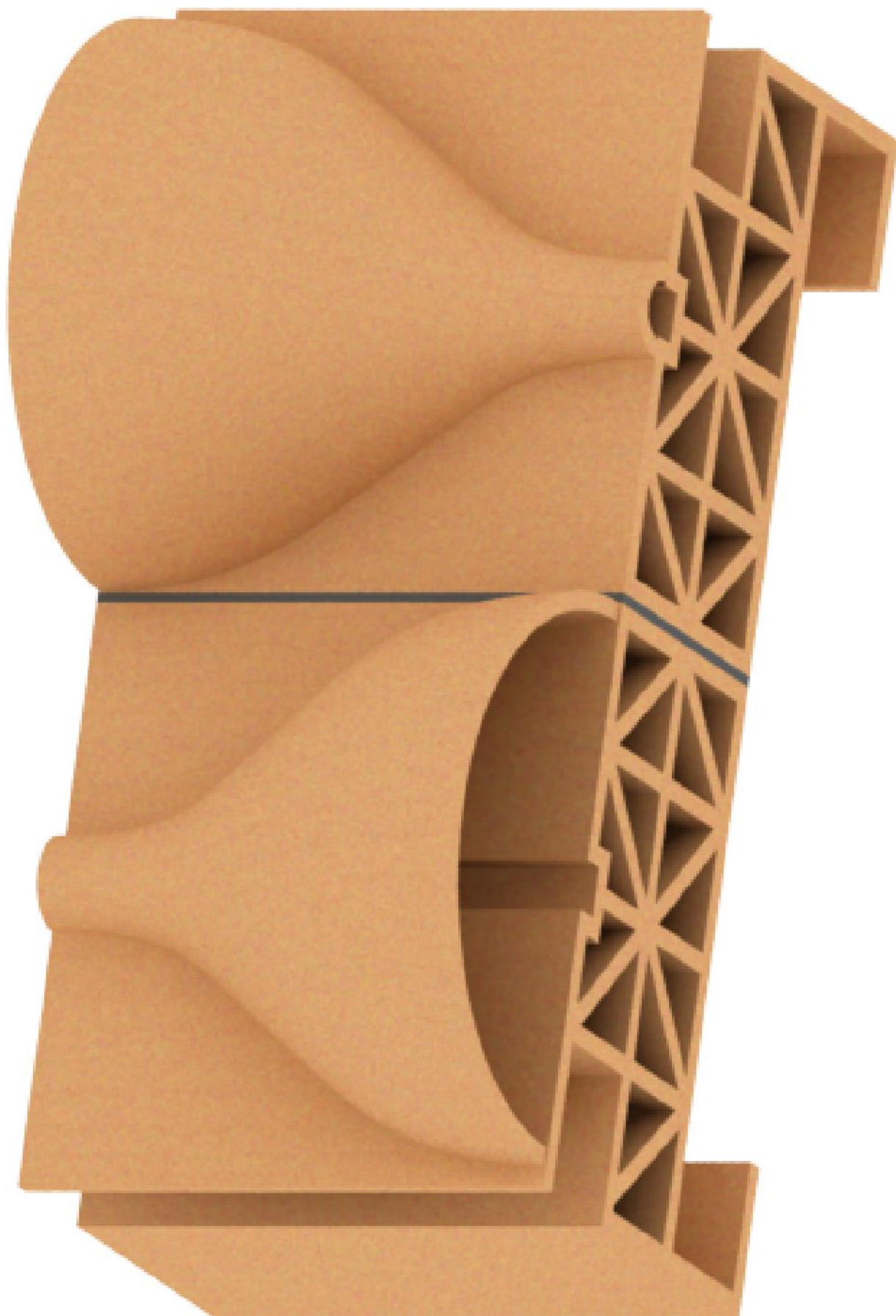
Il modulo 3 è pensato in coordinazione con il modulo 1-2, realizzando nelle stesse modalità del modulo 4 e del modulo 2, degli alloggiamenti per impianti elettrici, in questo caso lineari, secondo l'asse verticale. Questo modulo permette così la canalizzazione vincolata degli impianti elettrici in senso verticale, costituendo un vincolo progettuale a cui attenersi per la creazione dell'impianto.

### **Modulo 4 - descrizione tecnica:**

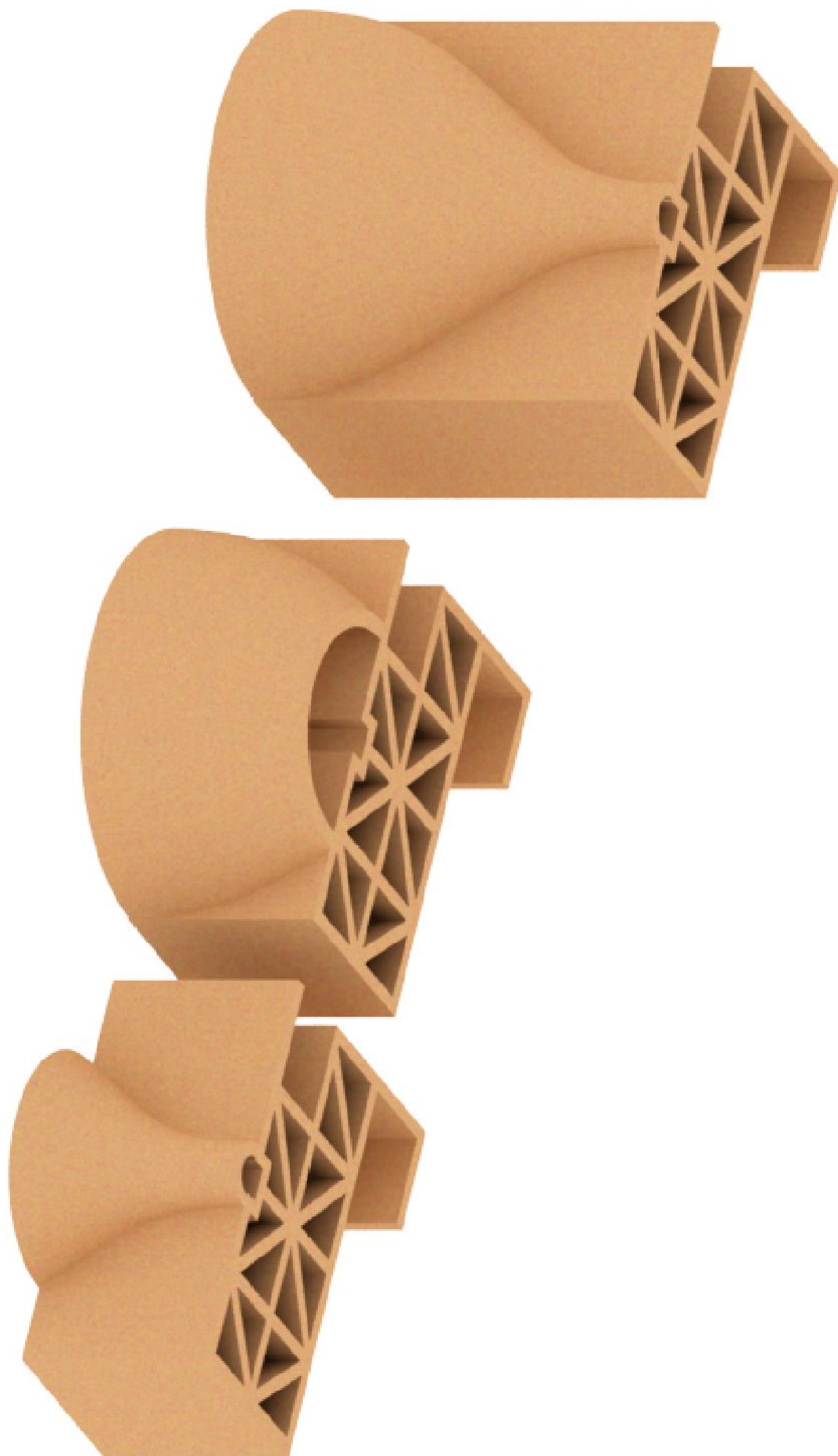
Il modulo 4 è la versione speculare del modulo 3 ma realizzando una direzionalità orizzontale, per l'alloggiamento della canalizzazione elettrica. Il modulo si aggrega al modulo 2.



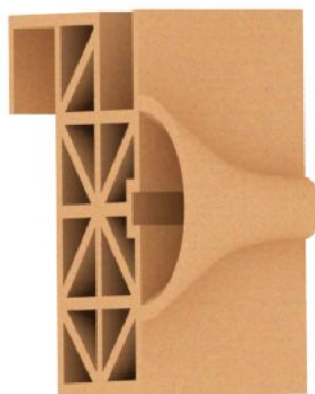
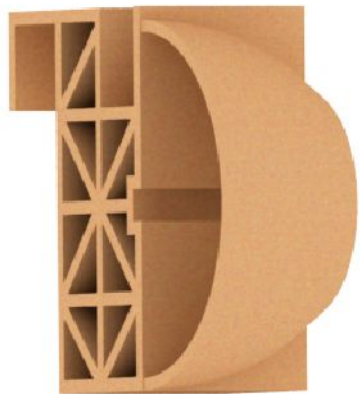
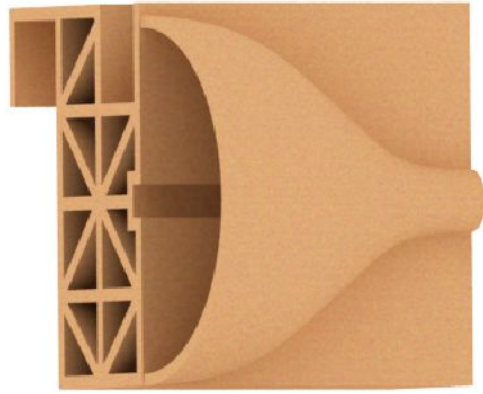
**Disegni tecnici e rendering modulo 1:**



*Illustrazione 65: render modulo 1 lampadario*

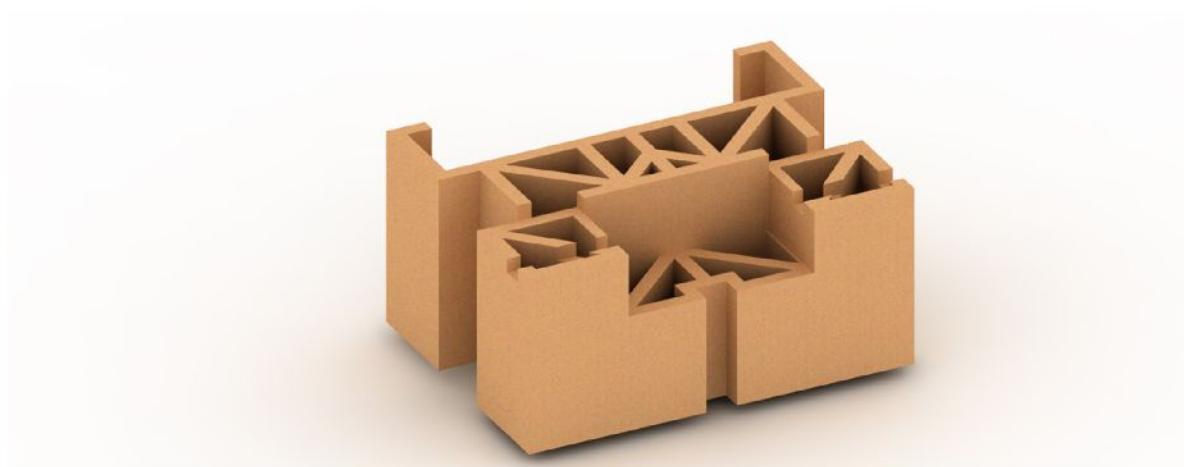
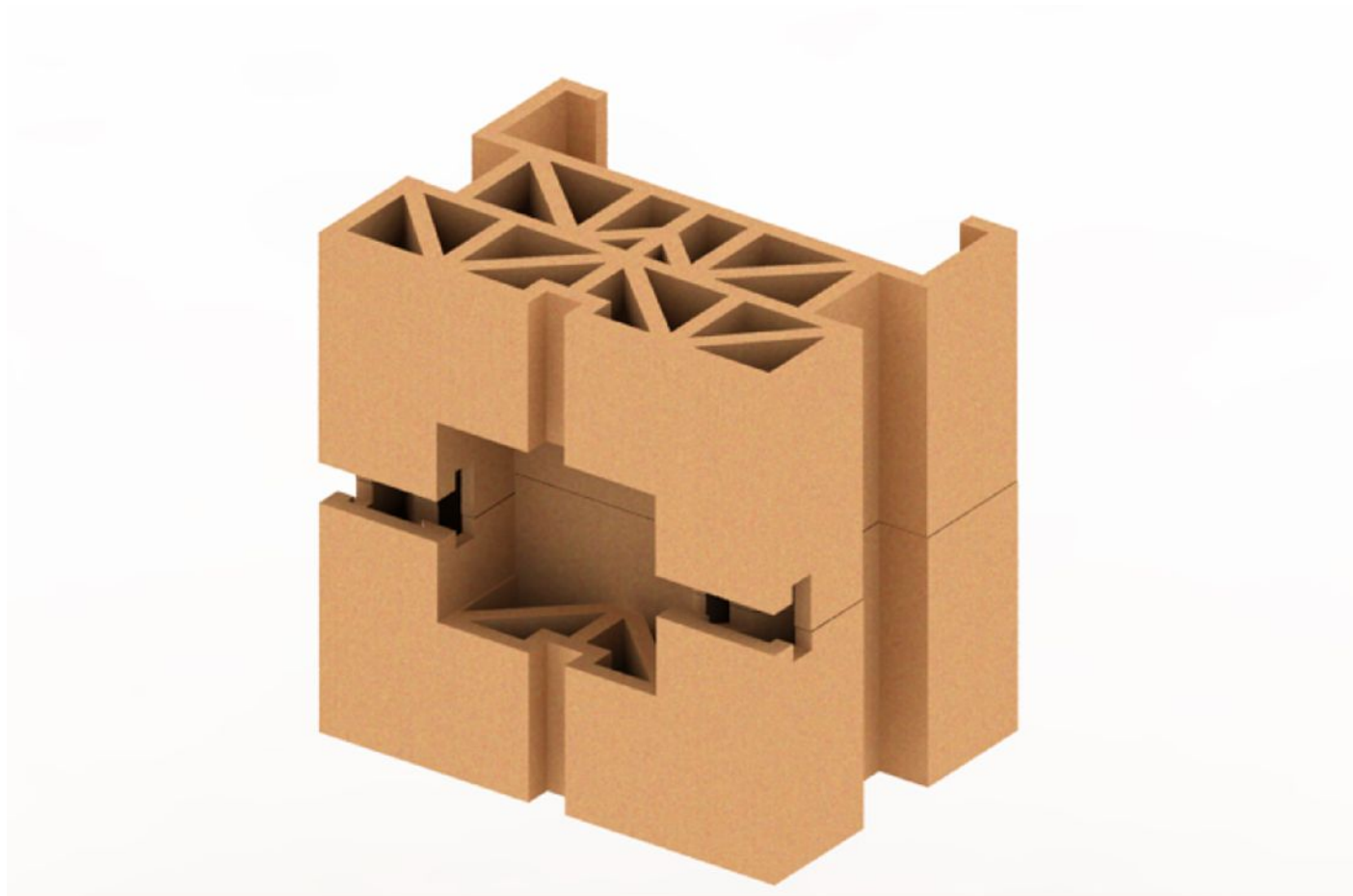


*Illustrazione 66: render modulo 1 lampadario, in un blocco o in due blocchi*



*Illustrazione 67: render vista dal basso del modulo 1*

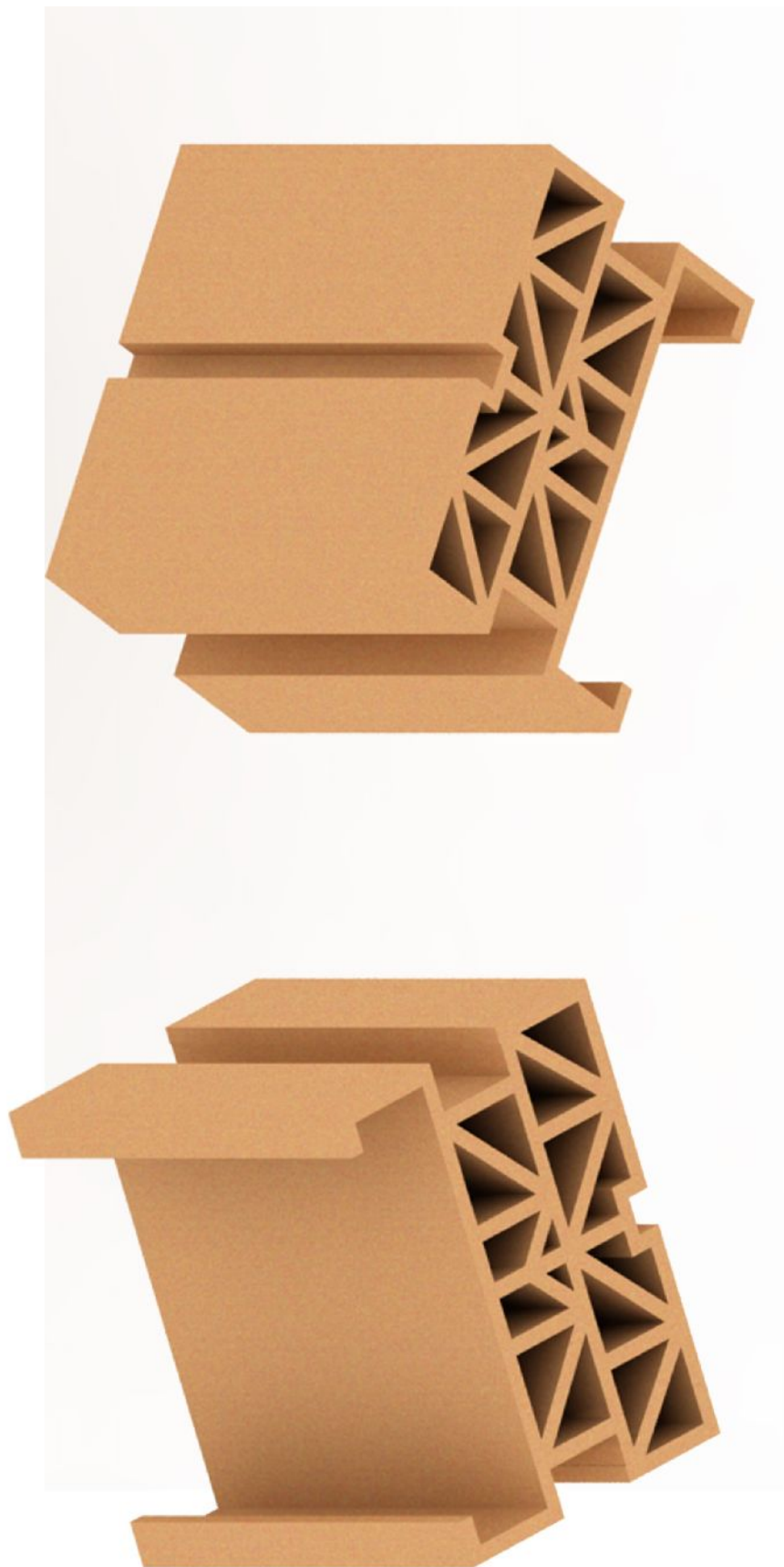
## Disegni tecnici e rendering modulo 2:



*Illustrazione 68: render modulo 2 in due blocchi*

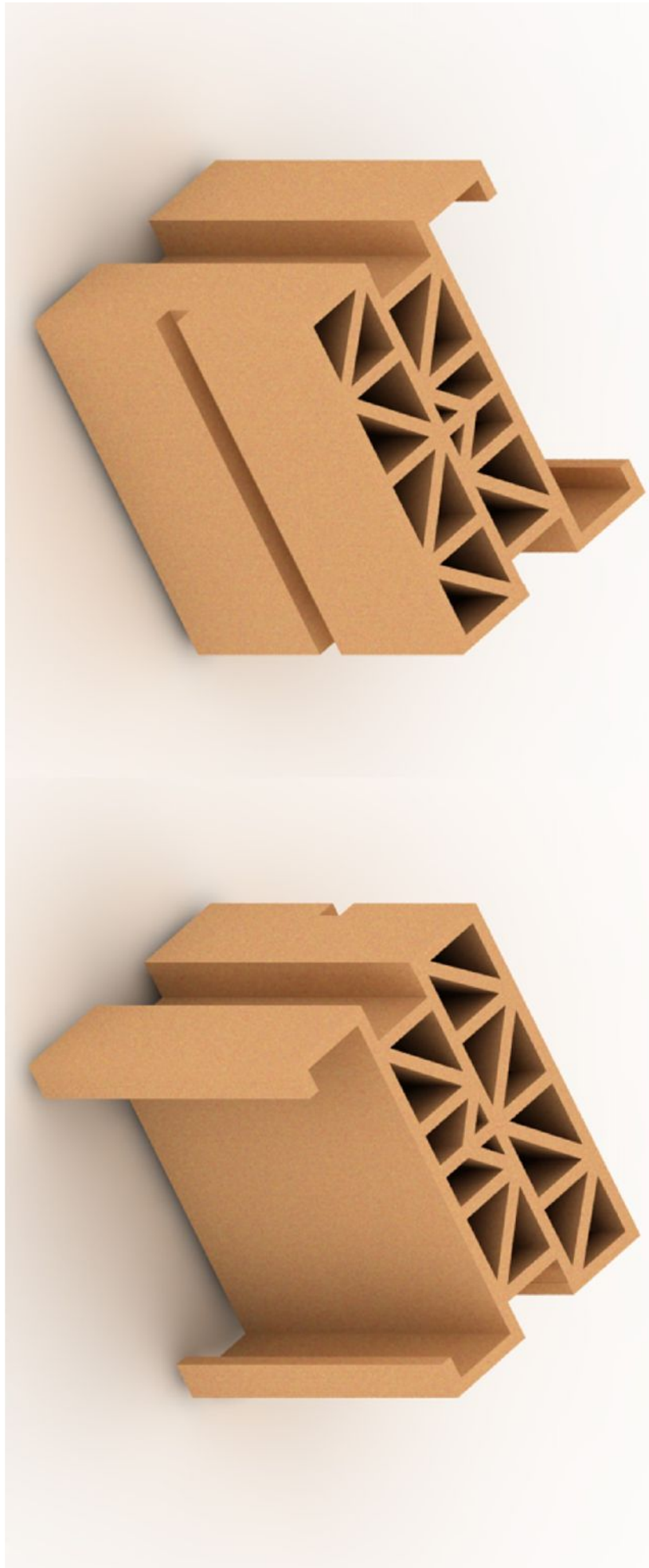


## Disegni tecnici e rendering modulo 3:



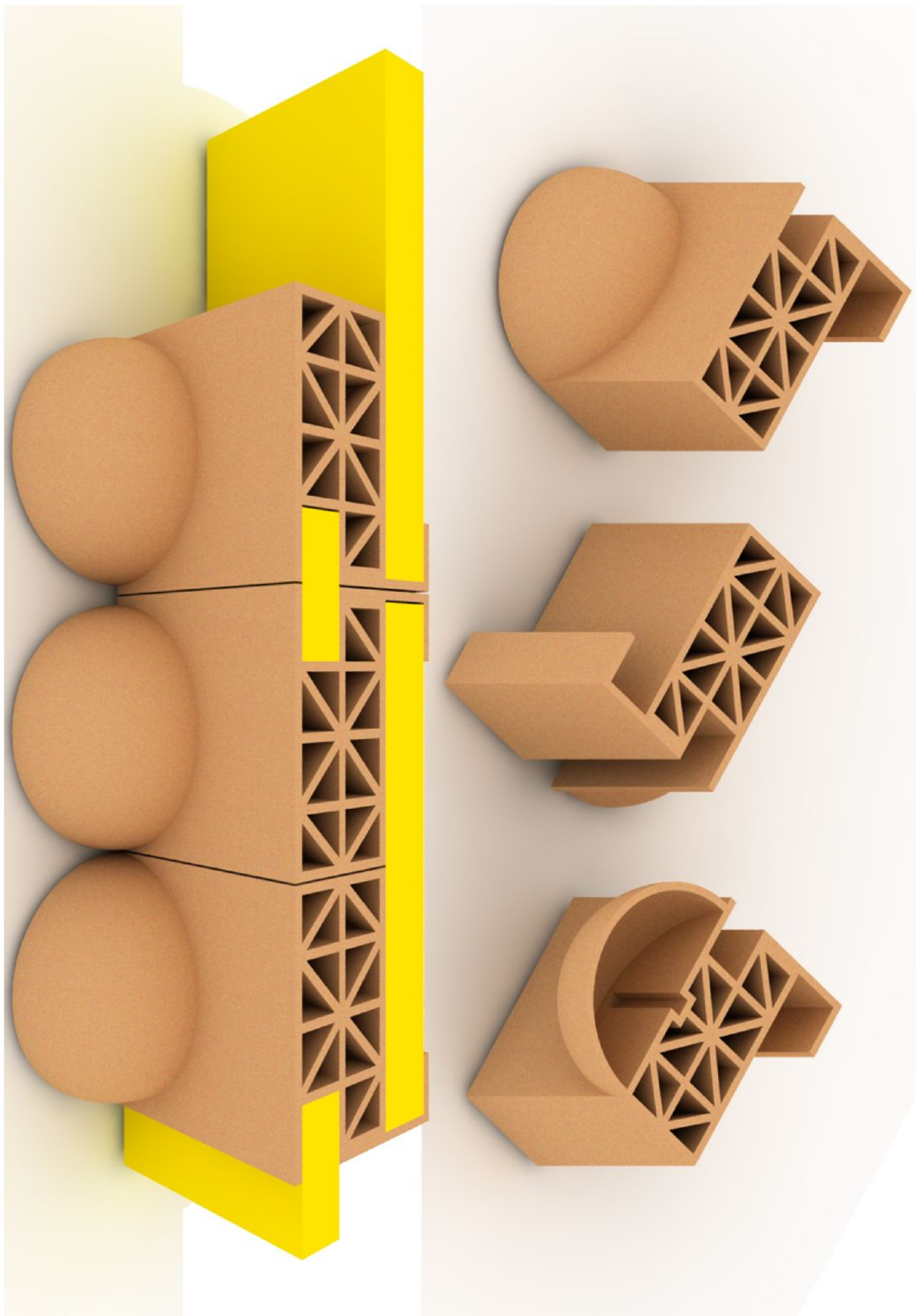
*Illustrazione 69: render modulo 3*

**Disegni tecnici e rendering modulo 4:**

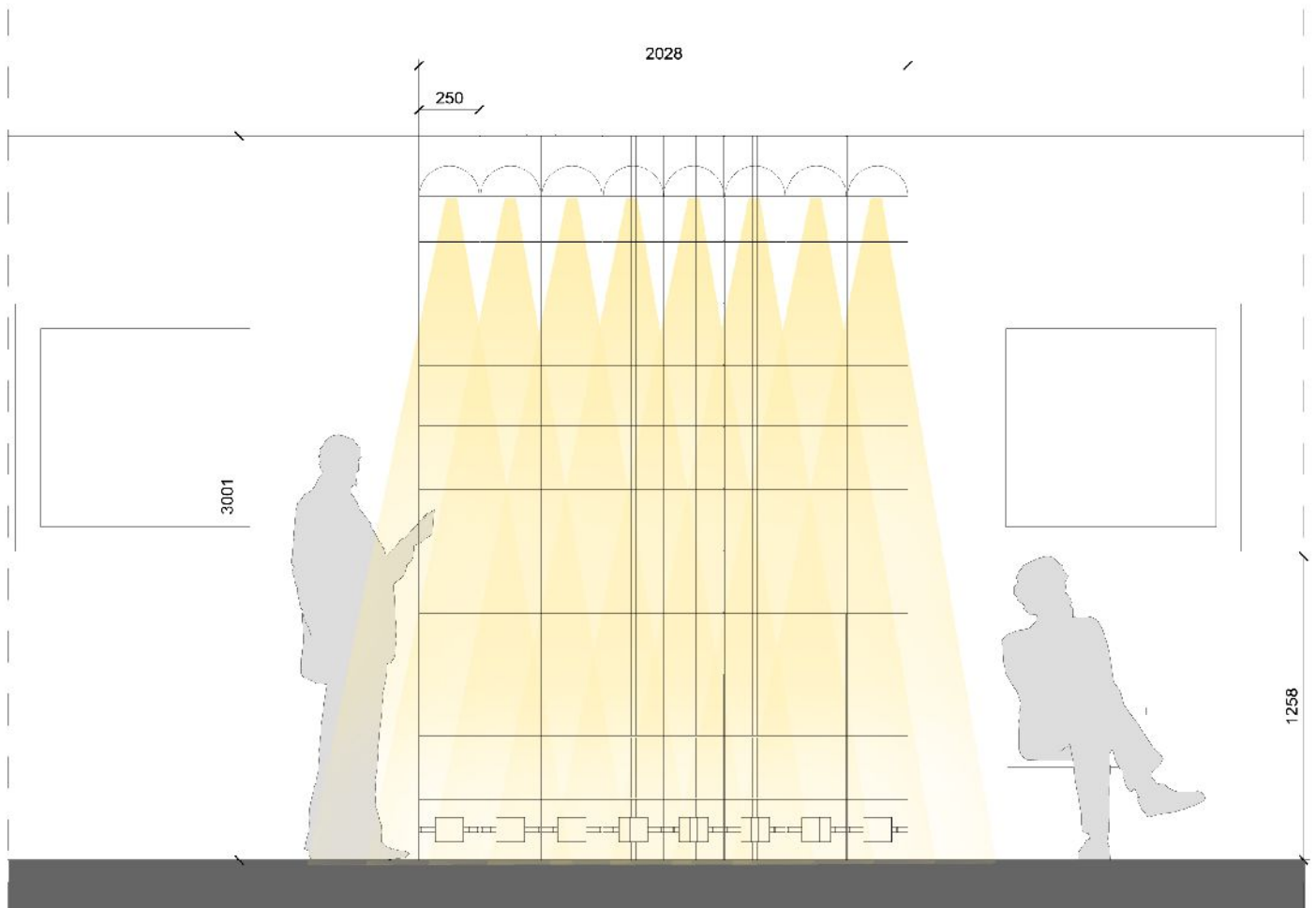


*Illustrazione 70: render modulo 4*

## Rappresentazioni dei componenti nel sistema edilizio:



*Illustrazione 71: variante con cupola del modulo 1, di difficile ma non impossibile realizzazione con stampa 3d per argilla*

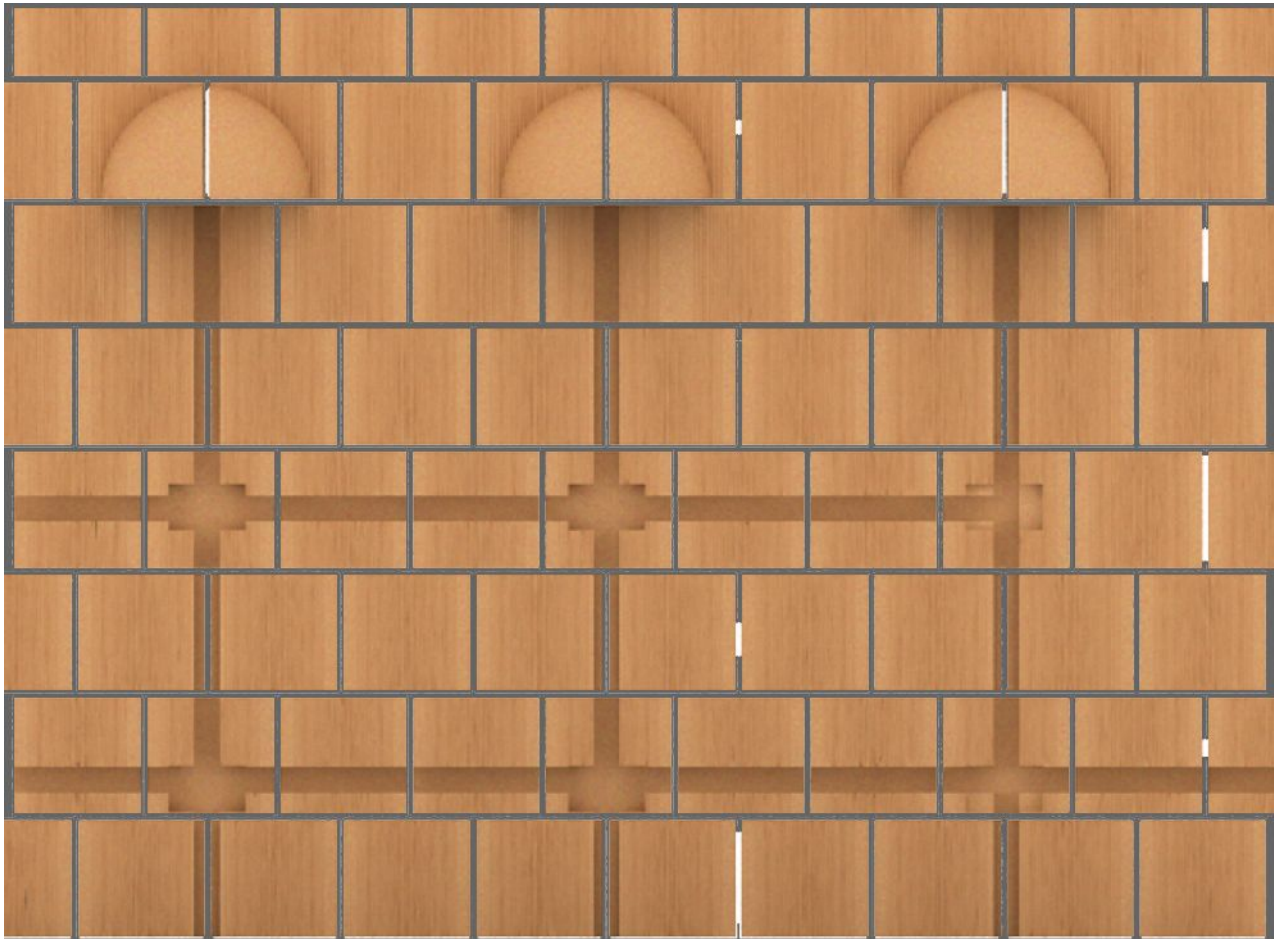


*Illustrazione 72: vista frontale del sistema parete con i moduli del sistema progettato*

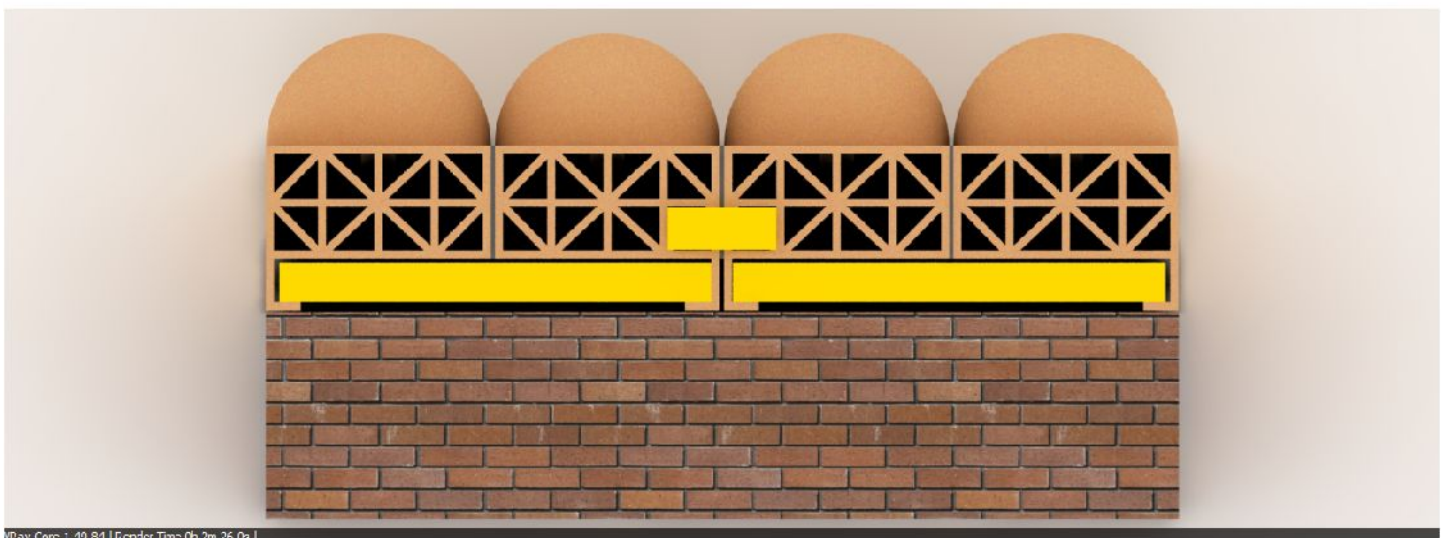


*Illustrazione 73: vista prospettica render del sistema parete*





*Illustrazione 74: vista frontale del sistema parete progettato*



May Core 1:19.81 | Render Time: 0h 2m 26.0s

*Illustrazione 75: vista dall'alto del sistema parete*



*Illustrazione 76: fotomontaggio del sistema parete durante il cantiere*

### **Procedura di cantiere ed assemblaggio:**

Il sistema prevede un principio di coordinazione modulare sia tra i moduli progettati che rispetto ai moduli standard esistenti. La compatibilità tra i moduli progettati prevede un assemblaggio combinato di letti di malta, giunti verticali in malta, moduli in laterizio e contemporaneamente inserimento di pannelli coibenti. L'assemblaggio ipotizzato è quello tradizionale ovvero non a secco, con il posizionamento di un letto di malta e successivo inserimento dei moduli mattone uno per volta, con la creazione di giunti verticali sempre colmati da malta cementizia. L'assemblaggio avviene secondo le modalità tradizionali ovvero seguendo una linearità di posa orizzontale, secondo un verso preferenziale di posa, e successivo passaggio al livello sovrastante. La novità introdotta in questo processo consiste nella combinazione mista di laterizio e strato coibente. Lo strato coibente è infatti posizionato tra un "filare" di mattoni ed il seguente, sia negli alloggiamenti posteriori al laterizio, che nelle sezioni antistanti, per contrastare eventuali ponti termici. Per una perfetta posa è sempre ipotizzato un sistema di livellamento sia con livelle che a fili a piombo e fili orizzontalmente tesi. L'assemblaggio avviene quindi livello per livello, con la giustapposizione dei pannelli di coibentazione progressivamente al crescere verticale della parete. Una volta eseguito il setto, è ipotizzato il classico trattamento con i 2 o 3 strati di intonaco, necessari ad all'ottenimento di una finitura superficiale idonea. Gli stessi moduli lampadario potranno essere sia liscciati con tonachino, per un effetto lucido o comunque neutro, che lasciati grezzi, con la finitura della terracotta a vista, secondo le scelte del progettista. Per ottenere una compatibilità tra i moduli ed i laterizi esistenti, rispetto alle sottostrutture per il fissaggio della coibentazione, è ipotizzato di realizzare un quinto modulo ad *hoc* con tecnologie tradizionali di estrusione o alternativamente è ipotizzato di realizzare degli adattamenti a laterizi standard compatibili con i moduli progettati, delle dimensioni quindi di 250x125x125 mm. Questi adattamenti dovrebbero consistere nella realizzazione di una sottostruttura integrata al modulo standard con profilati metallici fissati con tasselli al laterizio standard, in modo che possa coordinarsi con i moduli ad *hoc*, da realizzarsi invece con stampa 3d per argilla. Successivamente all'esecuzione del setto e prima dell'intonacatura è previsto l'inserimento degli elementi tecnici elettrici e del loro cablaggio.

# Il prototipo



## I materiali:

L'impasto ed i relativi composti, per realizzare il successivo processo di stampa 3d per argilla sono stati individuati dal laboratorio Più lab del Politecnico di Milano, che dopo numerosi sperimentazioni in questo campo ha raggiunto un buon mix tra i componenti. L'impasto infatti deve garantire sia un buon grado di fluidità e che al tempo stesso di coesione del filamento estruso.

I materiali utilizzati per realizzare l'impasto di argilla sono stati:

-borbotina da colaggio rossa per maiolica 58 % dell'impasto

-chamotte fine rossa (0-0.5 mm) 20% dell'impasto

-carbonato di sodio 1% dell'impasto

A questi è stata addizionata acqua 21 % dell'impasto



*Illustrazione 77: processo di impasto ed estrusione di argilla, dopo estrazione del materiale direttamente in loco, oggetto di realizzazione di un progetto wasp in Marocco*



## Il processo di stampa:



Illustrazione 78: Stampante wasp 40/70 delta

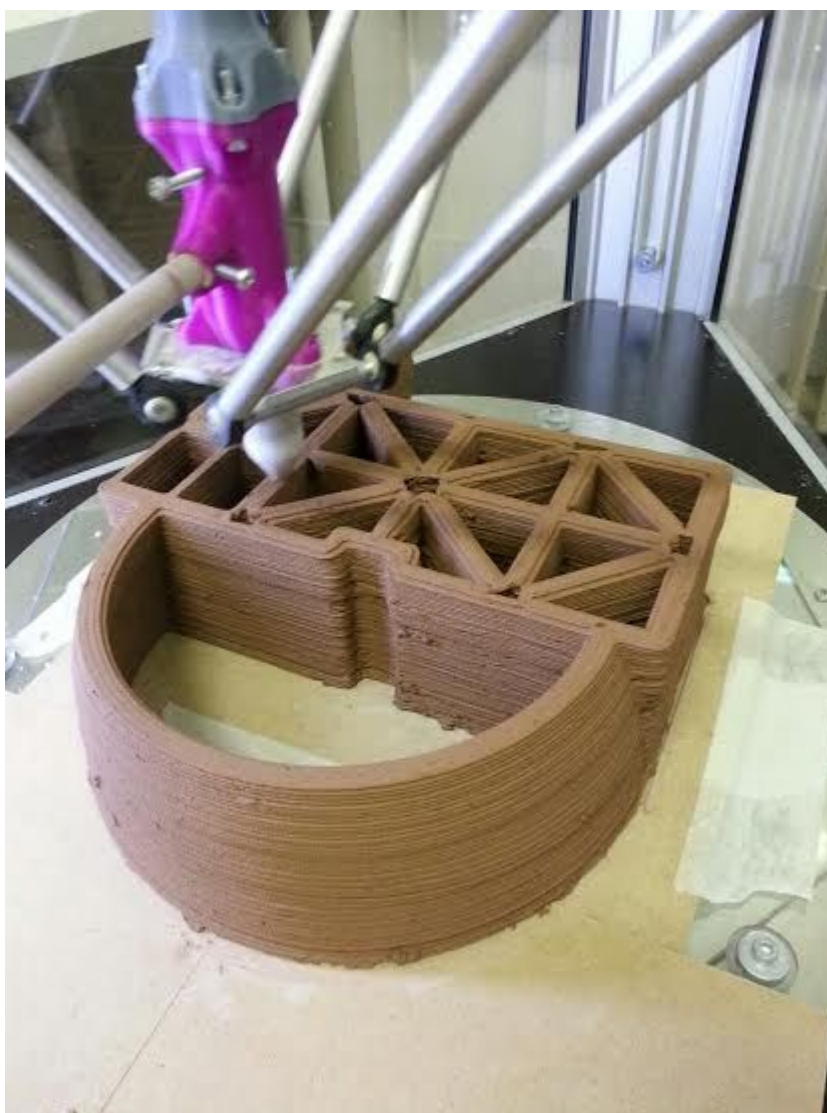


Illustrazione 79: Processo di stampa 3d del modulo 1 con wasp 40/70

E' stato creato un file gcode esecutivo per la stampante 3d, che a partire da un file 3d in formato stl, è stato convertito in gcode. Il settaggio di stampa è avvenuto con i software open source e free software Repetier Host e Slicer. Impostati i parametri principali si è passati a settare la stampante. Il settaggio della stampante avviene con il riempimento di una tramoggia con il materiale argilloso da estrudere, fino a massimo 10 litri, successivamente è stato messo sotto pressione con relativo compressore ad aria, il sistema di estrusione. Successivamente è stato posizionato un piano di appoggio per l'oggetto in compensato, per il successivo trasporto. Successivamente è stato lanciato il file gcode nella stampante wasp. La stampante in oggetto, wasp 40/70, ha un volume di stampa cilindrico di 40 cm di diametro e 70 cm di altezza massimi. Questo tipo di stampante "delta", pone le basi del suo funzionamento su tre assi di scorrimento verticale, dove i bracci ad essi connessi, vengono fissati con il corpo estrusore. La regola geometrica che vale per determinare il punto di estrusione è che con 3 coordinate si può ottenere un qualsiasi punto dello spazio. In particolare, i 3 motori di azionamento dei bracci, sui 3 assi di scorrimento verticale, avendo azionamenti disgiunti possono permettere un libero e totale posizionamento del corpo estrusore all'interno del volume cilindrico di stampa.

## Il processo di essiccazione:

Successivamente i prototipi dovrebbero richiedere un processo di essiccazione in un luogo asciutto e con temperatura controllata per un periodo di circa 3-4 settimane. Durante l'essiccazione purtroppo non sono stati rispettati i valori di umidità e temperatura auspicabili. I prototipi si trovavano infatti in luogo umido e riscaldato solo in ore diurne. Il periodo di essiccazione corrispondeva inoltre al più freddo e più umido dell'anno 2014, ovvero il mese di dicembre. Questo ha determinato alcuni crepe dovute al ritiro non lineare dei pezzi. Le crepe sono state visibili anche dopo cottura, a testimonianza del fatto che la fase di essiccazione può risultare cruciale per un buon prodotto finito.



*Illustrazione 80: Prototipo del modulo 1 realizzato in due sob-componenti, durante il processo di essiccazione*



## Il processo di cottura:

Successivamente al periodo di essiccazione, i prototipi sono stati trasportati ad un fornitore munito di forno per ceramica e terracotta. I prototipi sono stati sottoposti a 9 ore di cottura a 1050°C e altre 9 ore di raffreddamento controllato.

Il prodotto finito in terra cotta è risultato essere ridotto in volume, di circa un 10%, in particolare del 10.545% rispetto ai valori di progetto. Questo processo di ritiro è dovuto infatti all'evaporazione graduale dell'acqua, sia nella fase di essiccazione che di cottura.



*Illustrazione 81: Prototipo del modulo 1 dopo essiccazione e cottura, ed altri moduli realizzati dal Più Lab del Politecnico di Milano*



*Illustrazione 82: Secondo prototipo realizzato del modulo 1, in particolare con i due sub-componenti realizzati ed assemblati, ivi compreso lo strato coibente*



*Illustrazione 83: vista frontale del secondo prototipo realizzato*

I prototipi risultano inoltre leggermente scheggiati dopo il trasporto. Questi difetti sono visibili frontalmente nel modulo 1, nel sub-componente superiore alla base del lampadario con la perdita di alcuni frammenti dei primi layer, e nel sub-componente inferiore alla base del lampadario con 2 crepe verticali. Questo potrebbe denotare una deduzione ovvero che vi sia un fattore di rischio rispetto ai layer basamentali della stampa, che richiederebbero estrema cura, ad esempio dal distacco dal proprio piano di appoggio in fase di essiccazione e trasporto. E' avvenuto però anche un distacco nel sub-componente superiore, in alto a destra, questo senz'altro dovuto a problemi di essiccazione non controllata.



*Illustrazione 84: vista superiore del secondo prototipo realizzato*



# **Test ai carichi verticali**

## Norma EN UNI 772-1-2011 - iter procedurale:

In questo paragrafo verrà esposto l'iter procedurale della norma EN UNI 772-1-2011. Questa norma ha fornito le linee guida per sviluppare l'iter dell'intero processo di test a rottura per i carichi verticali. La prassi applicativa del procedimento di test si è discostata leggermente in realtà dalla metodologia EN UNI di riferimento, per motivi legati ad esempio al numero di campioni da dover realizzare e testare. La norma infatti prevede, ai fini di un dato qualitativamente valido in termini statistici, di effettuare il medesimo test su almeno 6-30 campioni, un numero di prototipi non realizzabile ai fini di questo percorso di tesi, per tempi, costi e impossibilità di usufruire delle tecnologie necessarie per il relativo tempo. Si procede quindi di seguito con l'elencazione dei principali ed essenziali punti di sviluppo procedurale del test, parafrasando la norma di riferimento e commentandola:

La norma si occupa delle seguenti aree tematiche:

### **1 Campo di applicazione**

**La norma specifica un metodo per determinare la resistenza a compressione di elementi in muratura.**

**EN 771-1, Specifica per elementi di muratura - Parte 1: unità argilla muratura**

**EN 772-16, Metodi di prova per elementi di muratura - Parte 16:**

**Determinazione delle dimensioni**

**EN 772-13, Metodi di prova per elementi di muratura - Parte 13:**

**Determinazione della densità netta e la densità lorda a secco di elementi di muratura (ad eccezione di pietra naturale)**

La simbologia delle variabili da calcolare sono:

### **4 Simboli**

***f<sub>b</sub>*** normalizzata resistenza a compressione di unità in muratura (N / mm<sup>2</sup>);

***d*** fattore di forma moltiplicatore utilizzato per convertire il fattore di resistenza alla compressione degli esemplari della muratura a secco con la resistenza normalizzata a compressione.

Il campionamento può avvenire sia su sezioni di muratura esistente da cui opportunamente si possano ottenere delle sezioni rappresentative cube oppure (nello specifico il caso trattato in questa tesi, trattandosi di un nuovo componente edilizio) su campioni di nuova costruzione:

### **7 Preparazione dei provini**

#### **7.1 Campionamento**

Il metodo di campionamento deve essere conforme con la parte rilevante della EN 771. Il numero minimo di campioni è sei, ma un numero minimo più grande può essere specificato nel disciplinare di produzione. In caso di grandi elementi di muratura, di cui sia necessario ottenere un campionamento, ad esempio di sezioni rappresentative cube, si può tagliare il campione dalla muratura in diverse posizioni, come indicato nella parte corrispondente della EN 771 (vedi anche nota 7.2.4).

Le superfici possono essere opportunamente trattate ai fini di una buona qualità superficiale dei campioni. Nel caso del test realizzato non sono stati adottati particolari accorgimenti su questo fronte:

#### **Preparazione 7.2 Superficie**

##### **7.2.1 Generale**

I campioni devono essere ottenuti con l'orientamento indicato, e questo deve essere indicato nel verbale di prova. Per alcune forme di muratura, sarà necessario testare le unità muratura in più di una direzione. Dove la molatura secondo 7.2.4 altera

significativamente la superficie di contatto o riduce l'altezza sensibilmente sono necessari approcci alternativi, vedi 7.2.4. Qualora non sia possibile preparare unità argilla HD macinando es unità ad alta resistenza, la preparazione delle superfici possono essere effettuate con tamponatura secondo 7.2.5

Dopo la rimozione di qualsiasi materiale superfluo, derivante dal processo di produzione, le superfici trattate del campione, devono essere planari con una tolleranza di 0,1 mm in ogni 100 mm in modo tale che la superficie superiore ed inferiore siano parallele.

Se non è possibile ottenere le due superfici parallele con un errore di 0.1 mm ogni 100 mm bisogna quindi preparare le superfici sia per la macinazione (vedi 7.2.4) che per la tamponatura (vedi 7.2.5).

Elementi di muratura contenenti incavi, che non devono essere ridotti, devono inoltre essere trattati come indicato in 7.2.3.

Se i campioni contengono scanalature o lingue prima bisogna prepararli come indicato in 7.2.2.

Le prove sono redatte in conformità dell'allegato B della norma di riferimento.

Bisognerà inoltre indicare il metodo di preparazione delle superfici nel verbale di prova.

### **7.2.2 Rimozione di lingue e scanalature**

Bisogna rimuovere eventuali lingue e / o scanalature sulle basi di appoggio del campione prima del test. Se il campione è ottenuto tagliando una sezione di muratura più grande, bisogna organizzare il taglio in modo che qualsiasi lingua e / o scanalatura siano eliminate.

### **7.2.3 Preparazione di elementi di muratura contenente rane e che non devono essere ricoperte**

Per i campioni di muratura contenenti incavi, bisogna valutare che siano superiori al 35% della superficie di appoggio, bisogna testarli senza rimuovere o riempire gli incavi. Se la superficie netta caricata, di appoggio della muratura con incavi è inferiore o uguale al 35% della superficie lorda, allora le rane devono essere riempite con malta dello stesso tipo usato per la tamponatura (vedi 7.2.5) e la polimerizzazione deve essere effettuata in conformità con i requisiti di 7.2.5.4.

Successivamente è possibile operare con la rettifica delle due superfici di appoggio, questo è avvenuto appunto con rettificatrice planare a rulli paralleli:

### **7.2.4 Rettifica**

Bisogna rettificare le superfici del campione fino a che il requisito di planarità e parallelismo dato in 7.2.1 sia raggiunto. Tuttavia, se gli elementi di muratura sono costituiti da: incavi, lettering frastagliati, cavità, perforazioni, fori interni o fori esterni, si può lasciare inalterato il campione. Se il processo di rettifica dovesse modificare significativamente l'area di contatto del campione da testare allora bisogna ricorrere alla procedura di tamponamento 7.2.

Se l'altezza residua dei provini dopo che sono su una base di appoggio è inferiore a 40 mm o il rapporto altezza / larghezza inferiore a 0,4, bisogna quindi fare un composito dell' esemplare, realizzando il test senza usare alcuna malta o materiale legante o strato separatore (s) tra di essi.

NOTA: L'esemplare composito è costituito da più di una unità di terra, questo dovrebbe essere considerato come un unico esemplare che fornisce dati in un singolo test. Di conseguenza, un numero maggiore di elementi di muratura, di quelli specificamente indicati nella EN 771, sarà necessario per fornire il numero di risultati.

### **7.2.5 Capping**

7.2.5.1 Il livellamento di elementi di muratura, senza vuoti o con vuoti non riempiti.

Utilizzare un mix di cemento / sabbia come tappatura, questo dovrebbe permettere di raggiungere un minimo di resistenza alla compressione, durante il test secondo la norma EN 1015-1011, al momento della prova dei campioni, l'unità di muratura prevista con forza  $\geq 30 \text{ N / mm}^2$ , considerando quello che ha valore minore.

Se necessario, per unità con alto assorbimento di acqua, dapprima inumidire le superfici da tappare. Il campione dovrà essere collocato su una piastra rigida liscia di vetro smerigliato o acciaio inossidabile, che non partano non abbia di più di 0,1 mm ogni 100 mm di errore.

Un metodo idoneo è il seguente:

Sostenere la piastra saldamente con la faccia lavorata superiore e livellarla in due direzioni ortogonali con una livella. Ricoprire la piastra con un velo d'olio distaccante o un foglio di carta sottile o film plastico per evitare l'adesione della malta alla piastra. Posizionare uno strato uniforme di malta dello spessore di circa 5 mm sulla piastra, circa 25 mm più in lunghezza rispetto all'unità da testare e circa 10 mm più larga. Premere un letto faccia del campione con fermezza nello strato in modo che l'asse verticale del campione sia perpendicolare al piano della piastra. Controllare questa condizione utilizzando una livella di bolla, tenendolo contro ciascuna delle quattro facce verticali del provino a sua volta. Assicurarsi che lo spessore del letto di malta sia di almeno 3 mm lungo l'intera area e che ogni cavità della faccia del letto sia normalmente riempita. Non riempire le cavità ad eccezione di quelle che sono destinate ad essere riempite nella costruzione. Tagliare la malta in eccesso a filo con i lati delle unità di muratura. Coprire l'esemplare ed il riempimento con un panno umido. Mantenere il panno umido. Quando sarà sufficientemente indurito, bisognerà esaminare il letto di malta. Se esente da difetti quali la mancanza di compattazione, mancanza di adesione alla muratura unità e / o screpolature, allora la seconda faccia letto dovrà essere trattata nello stesso modo come la prima faccia, con malta fatta, utilizzando i materiali utilizzati dalle stesse partite di cemento e sabbia e con le stesse proporzioni mix della prima faccia.

Dopo aver rimosso il campione dalla piastra, verificare che il letto di malta sia privo di difetti come prima. Piccoli fori possono essere effettuati nella tappatura per drenare l'acqua intrappolata in cavità, se fosse necessario.

Bisognerà premere una faccia letto dell'unità nel mortaio tale che lo spessore della malta sotto la parete gusci è almeno 3 mm. Verificare che l'asse verticale del campione sia perpendicolare alla piastra utilizzando un squadra o un righello verticalmente bisognerà inoltre controllare ogni faccia verticale. Bisognerà tagliare la malta in eccesso. Bisognerà poi conservare il campione ed il letto, ed esaminare il letto della seconda faccia secondo 7.2.5.1 e 7.2.5.2 rispettivamente.

7.2.5.3 tappatura di elementi di muratura da strip-letti.

Quando gli elementi di muratura sono detinati alla rottura multipla di giunto allora c'è una doppia procedura di cui al 7.2.5.2, che dovrà essere seguita, salvo che la tappatura con la malta si applica a tutte le superfici dei letti in uso.

7.2.5.4 Conservazione dei campioni innestate

Bisognerà curare gli esemplari sotto sacchi mantenendo un livello di umidità alto per tutto il periodo di stagionatura o bisognerà collocare gli esemplari in una camera di condizionamento a una umidità relativa superiore al 90%. Questa fase dovrà durare per un periodo sufficiente ad assicurare che il mortaio realizzi un tasso alcolometrico minimo specificato in 7.2.5.1.

In questa sezione della norma risulta evidente come adottare l'area di appoggio di riferimento per i successivi calcoli. In questo caso si è optato per l'area lorda:

## **7.4 zona Loaded**

### 7.4.1 Superficie lorda

La superficie lorda della superficie caricata è calcolata in millimetri quadrati moltiplicando la lunghezza per la larghezza di ogni campione, determinate secondo EN



772-16. Dove le unità sono da testare con la forza di compressione diversa dalla normale alla faccia del letto, allora in questi casi la superficie lorda è calcolata in modo simile ma usando la larghezza e l'altezza o la lunghezza e altezza adeguata.

7.4.2 zona carico netta di unità che includono incavi destinati ad essere riempiti con malta. Se la superficie netta caricata di elementi di muratura con incavi, (Vedi anche 7.2.3) non è inferiore al 35% della superficie lorda allora la resistenza a compressione è calcolata sulla base della superficie netta caricata. Se la superficie netta caricata di elementi di muratura con incavi è inferiore del 35% della superficie lorda allora la resistenza a compressione è calcolata sulla base della superficie lorda dell'unità di muratura. Se l'incavo è di forma regolare, si può determinare l'area dello stesso di ciascun campione mediante la misurazione semplice e i principi della geometria. Per gli incavi rettangolari, bisognerà determinare l'area dello stesso di ciascun campione misurando la lunghezza e larghezza al perimetro esterno, utilizzando un righello o squadra di acciaio rigido. Le misure devono essere effettuate con l'approssimazione di 1 mm. Bisognerà calcolare la superficie netta caricata per ciascun campione la differenza tra la superficie lorda del campione con la zona con incavi.

In alternativa, per le unità che possiedono una forma di incavo non regolare, la superficie netta caricata può essere determinata seguendo i principi della EN 772-2.

In questa sezione della tesi si esplicano le procedure operative durante il test. Nello specifico si è optato, durante il test effettuato, per una variante, optando per l'inserimento di un materiale cartonato come cuscinetto, il fine era quello di delineare la porzione di sezione resistente rispetto all'intera porzione (escludendo la sezione del paralume):

## **8 Procedura**

### **8.1 Posizionamento esemplari nella macchina di prova**

Pulire le superfici di appoggio della macchina da prova (6.1). Una volta pulita rimuovendo qualsiasi grana disgregata dalle facce di letto del campione. Allineare accuratamente il campione con il centro del rullo sfera "seduto", in modo che si ottenga una sede uniforme. Le unità con un solo incavo devono essere posti con lo stesso in alto. Le unità con un incavo in entrambe le facce del letto devono essere poste con l'incavo più grande superiormente. Non utilizzare nessun materiale di riempimento, tranne per le unità destinate a semplice rottura del giunto o rottura di giunto multipla che siano stati rettificati in precedenza. In tali casi posizionare quattro strisce rigide in acciaio (6.3), con la stessa larghezza delle facce di posa di 50 mm più lunghe, due in alto e due in basso, sovrapponendo ugualmente a ciascuna estremità.

### **8.2 Loading**

Inizialmente, conviene utilizzare comunque un caricamento, ma, quando circa metà del carico massimo previsto è stato applicato, bisognerà regolare la velocità in modo che il carico massimo venga raggiunto in non meno di circa 1 min. Bisognerà registrare il carico massimo raggiunto.

La tabella 2 è data come guida per la scelta di opportuni tassi di carico.

**Table 2 — Loading rate**

<b>Expected compressive strength (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Loading rate (N/mm<sup>2</sup>)/s</b>
< 10	0,05
11 to 20	0,15
21 to 40	0,3
41 to 80	0,6
> 80	1,0

*Tabella 4: loading rate*

### **9 Calcolo ed espressione dei risultati**

Calcolare la resistenza di ciascun campione dividendo il carico massimo raggiunto per l'area di carico, che è la superficie lorda per unità che deve essere posato su un letto pieno di malta, a semplice rottura di giunto o rottura di giunti multipla, nonché elementi con incavi senza livellamento o in conformità con 7.4.2. Esprimere i risultati con l'approssimazione di 0,1 N / mm<sup>2</sup>.

In questa sezione della norma si espone l'iter per redigere il verbale del test. Nello specifico non è stato realizzato durante lo sviluppo del test sul prototipo di tesi:

### **10 Valutazione dei risultati**

Calcolare la resistenza a compressione come valore medio della forza dei singoli esemplari alla

approssimazione di 0,1 N / mm<sup>2</sup>.

Calcolare il coefficiente di variazione del campione.

Rapporto 11 Test

Il verbale di prova deve contenere le seguenti informazioni:

- a) il numero, il titolo e la data di emissione della presente norma europea;
- b) nome dell'organizzazione che ha effettuato il campionamento e il metodo utilizzato;
- c) la data della prova;
- d) il tipo, l'origine e la designazione del gruppo di muratura con riferimento alla EN 771;
- e) il numero di esemplari del campione;
- f) la data di ricevimento dei campioni nel laboratorio di analisi;
- g) uno schizzo del campione, se necessario, illustrante l'estensione della zona di carico e l'altezza e la direzione di orientamento del carico;
- h) metodo di condizionamento;
- i) per le unità condizionata al 6%, il contenuto di umidità al momento della prova;
- j) il metodo di preparazione della superficie utilizzata;

- k) carico di rottura in N, e misure in mm di ogni campione misurato;  
 l) forza dei campioni in N / mm<sup>2</sup>, con l'approssimazione di 0,1 N / mm<sup>2</sup>, e il coefficiente di variazione della campione con l'approssimazione di 0,1%;  
 m) resistenza a compressione del campione in N / mm<sup>2</sup>, con l'approssimazione di 0,1 N / mm<sup>2</sup>;  
 n) richiesto il valore della resistenza a compressione normalizzata (vedi allegato A) in N / mm<sup>2</sup> al più vicino 0,1 N / mm<sup>2</sup>;  
 o) osserva, se presente.

### **Allegato A (Informativa)**

Conversione della resistenza a compressione di elementi di muratura alla resistenza a compressione normalizzata.

La resistenza alla compressione, che è il valore utilizzato per valutare il rispetto del disciplinare, può essere normalizzato per la progettazione.

In questo caso, la resistenza a compressione viene prima convertita in una resistenza a compressione equivalente relativo regime di condizionamento. I valori da utilizzare da moltiplicatori per questa conversione, quando sia necessario, sono:

per unità condizionati in conformità 7.3.2 o 7.3.4

1.0

per unità condizionati in conformità 7.3.3

0.8

per unità condizionati in conformità 7.3.5 1.2

Per ottenere la resistenza a compressione normalizzata,  $f_b$ , l'aria secca a resistenza a compressione di elementi di muratura viene moltiplicata per un fattore di forma,  $d$ , data in Tabella A.1, in cui la larghezza e l'altezza dovrebbero essere determinati secondo EN 772-16.

Nel caso in cui siano state effettuate prove su provini ricavati da unità intere, la forza normalizzata

derivata dai risultati di prova per i campioni di taglio, è quella che si applica a tutta l'unità da cui deriva.

**Table A.1 — Shape factor  $d$  to allow for the tested dimensions of the specimens after surface preparation**

Width mm	50	100	150	200	≥ 250
Height <sup>a</sup> mm					
40	0,80	0,70	-	-	-
50	0,85	0,75	0,70	-	-
65	0,95	0,85	0,75	0,70	0,65
100	1,15	1,00	0,90	0,80	0,75
150	1,30	1,20	1,10	1,00	0,95
200	1,45	1,35	1,25	1,15	1,10
≥ 250	1,55	1,45	1,35	1,25	1,15

NOTE Linear interpolation between adjacent values of shape factor is permitted.

<sup>a</sup> height after surface preparation.

Tabella 5: rapporto  $h/d$

## **Allegato B (normativo)**

Preparazione della superficie e di condizionamento delle unità

Prima di testare elementi di muratura devono essere condizionati secondo la tabella B.1. Dove la preparazione della superficie sia richiesta (vedi 7.2) deve essere conforme alla tabella B.1.

Tabella B.1 - Preparazione della superficie e di condizionamento delle unità

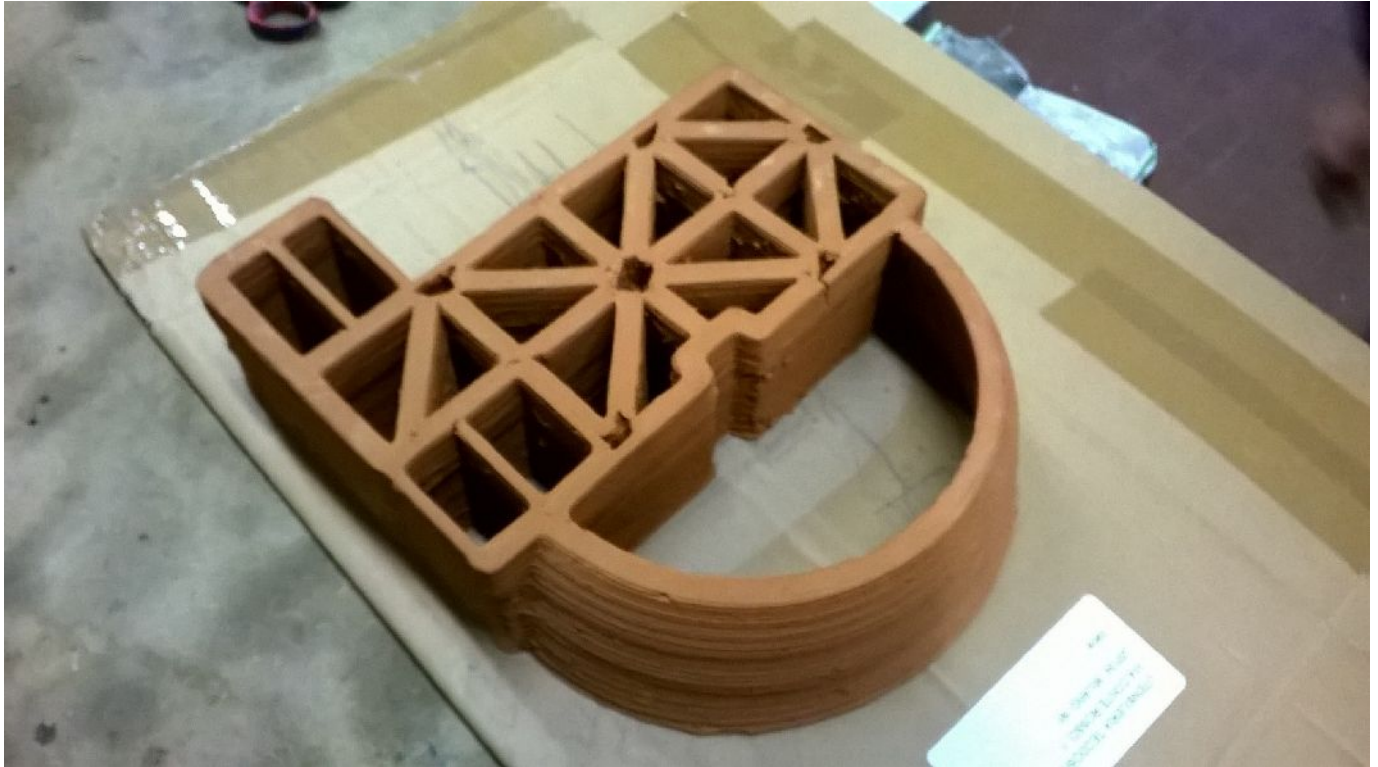
<b>Masonry unit type</b>	<b>Product specifications</b>	<b>Surface preparation</b>	<b>Conditioning masonry</b>
Clay	EN 771-1	7.2.4	7.3.2
Calcium silicate	EN 771-2	7.2.4	7.3.3 a)
Aggregate concrete	EN 771-3	Units h < 100 mm 7.2.4 Units h ≥ 100 mm 7.2.4 or 7.2.5	7.3.2 a) or 7.3.5
Autoclaved aerated concrete	EN 771-4	7.2.4	7.3.4
Manufactured stone	EN 771-5	7.2.4 or 7.2.5	7.3.2 a) or 7.3.5
Natural stone	EN 771-6	7.2.4	7.3.2 a)

*Tabella 6: allegato normativo b della norma en uni*



## Preparazione del pezzo con rilievo e rettifica:

Il pezzo ottenuto è stato innanzi tutto rettificato, con rettifica tangenziale. La rettifica tangenziale è un tipo di rettifica per piani, che si basa sulla rotazione di un albero portamola. Questo albero è parallelo al piano che viene lavorato dalla superficie cilindrica della mola, creando così una superficie perfettamente planare e parallela nelle due facce lavorate ovvero la base di appoggio superiore ed inferiore del prototipo.



*Illustrazione 85: primo prototipo per test dopo rettifica, vista superiore*



*Illustrazione 86: primo prototipo realizzato dopo rettifica, vista inferiore*

Dalle immagini risulta evidente il grado di finitura liscia ottenuta, indice della lavorazione di rettifica, che appunto abrada in modo uniforme il materiale, fino alla creazione di una superficie planare. Questo procedimento è stato adottato appunto per entrambe le basi di appoggio del prototipo.

Successivamente si è valutato di vincolare la porzione di appoggio del prototipo, delimitandolo alla sola area realmente sottoposta ai carichi verticali, nel caso di messa in opera. E' stata così esclusa la porzione "lampadario" ovvero la sezione curva dell'oggetto. Per far questo si è ritagliato uno strato di cartone con la medesima sezione del laterizio, ad esclusione della porzione "lampadario"



*Illustrazione 87: posizionamento del prototipo 1 nella pressa idraulica con materiale di cartone interposto*



*Illustrazione 88: Altra vista della medesima operazione sovrastante*



Contemporaneamente a questa fase è stato realizzato un rilievo meticoloso per le due sezioni di appoggio, superiore ed inferiore, per poter valutare la dimensione geometrica effettiva del prototipo realizzato in relazione ai dati di design, ovvero rispetto a quelli realizzati tramite cad 3d. Il rilievo ha assunto così un valore dimensionale importante, misurando effettivamente la geometria del prototipo realizzato, quindi l'area di appoggio superiore ed inferiore reali, l'area lorda reale, e l'area netta reale ovvero al netto delle forature presenti. Il rilievo ha fornito inoltre anche il dato di altezza medio del campione in oggetto. Questi dati rappresentano il punto di partenza principale, oltre ai valori ottenuti dal test di carico, per poter effettuare dei successivi calcoli accurati sui valori di resistenza.

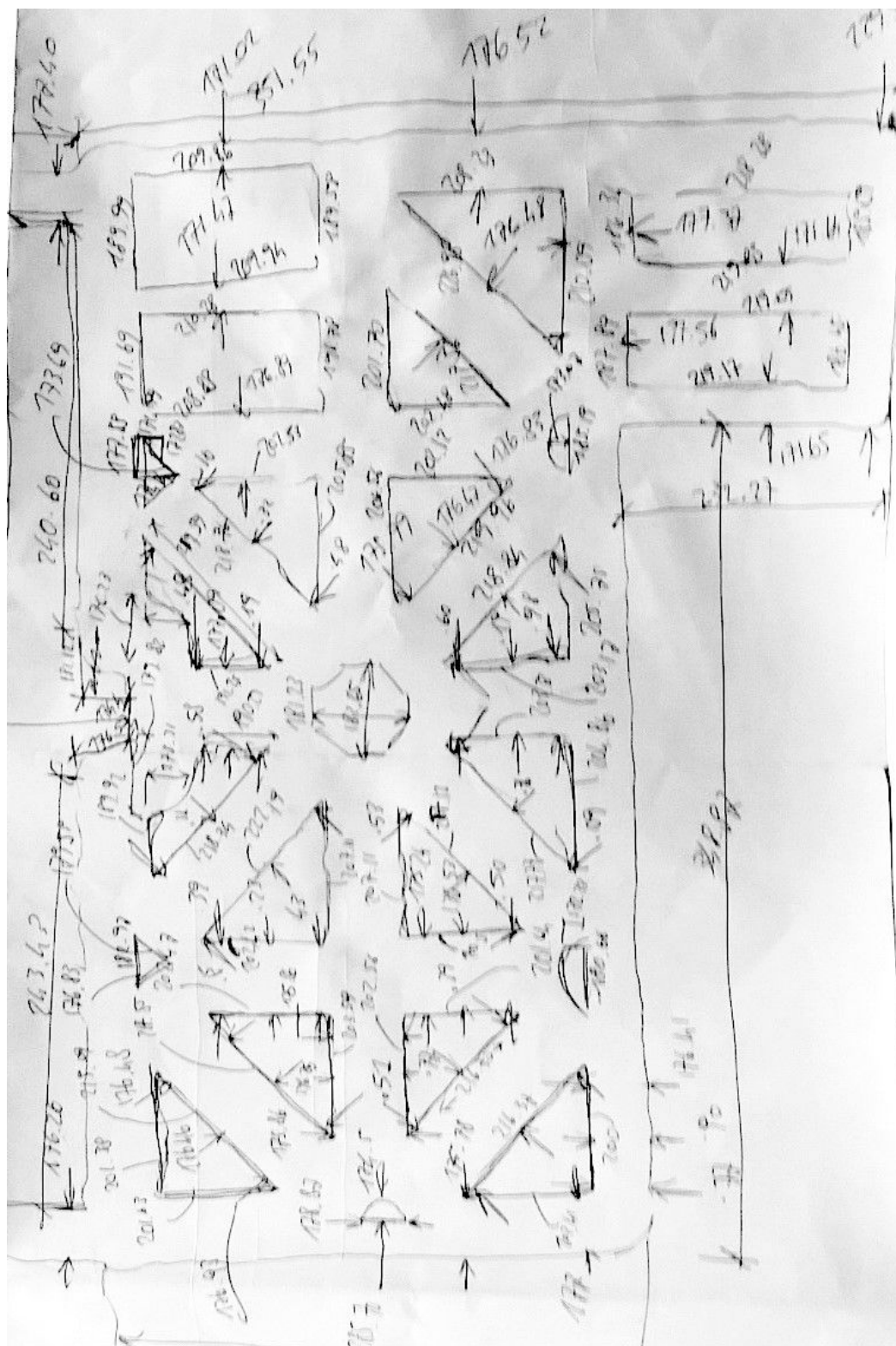
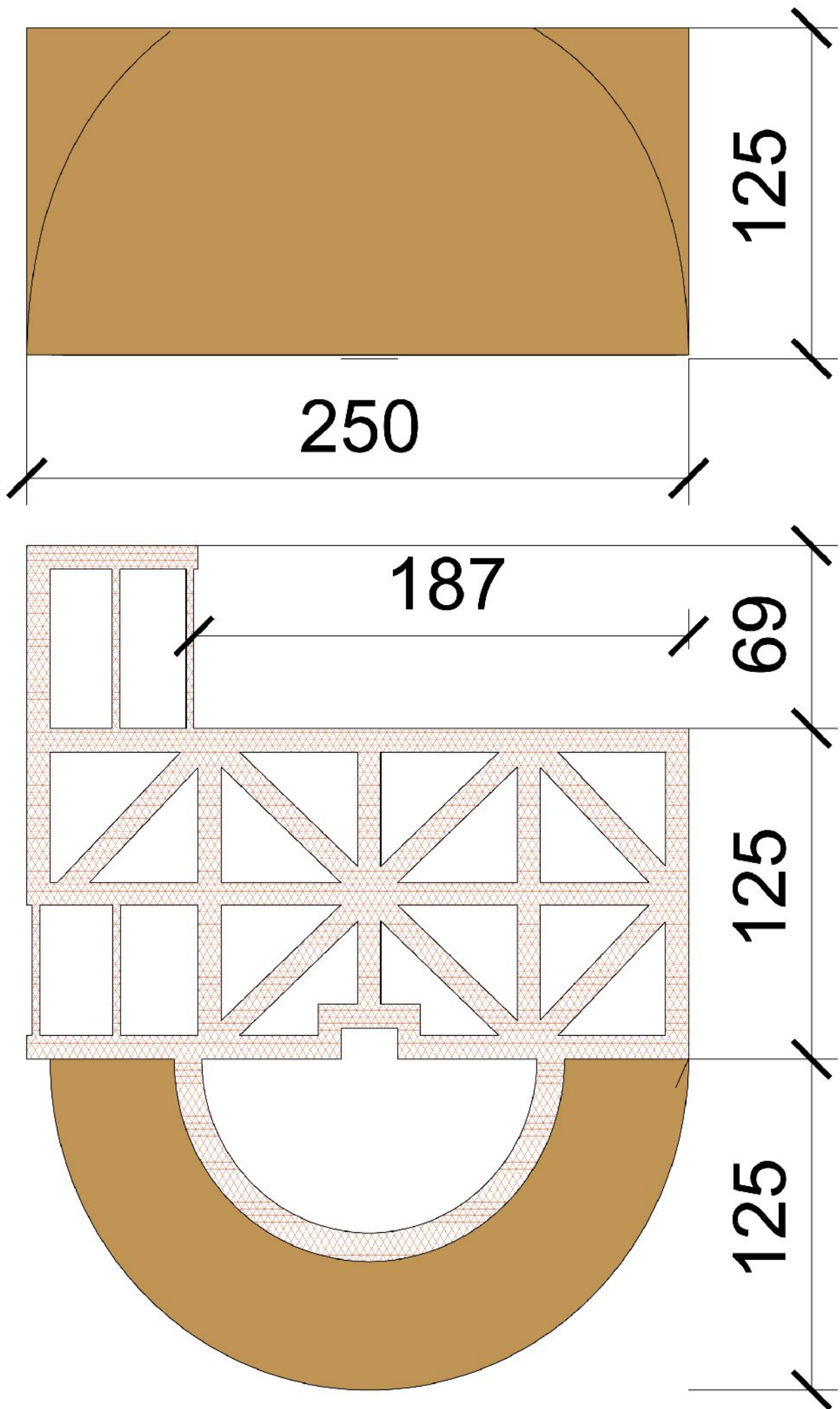


Illustrazione 89: appunti durante la fase di rilievo del prototipo 1 secondo norma EN UNI 772-16 di riferimento per il rilievo dimensionale





## Prova di carico:

Successivamente il prototipo è stato inserito nella pressa idraulica per ottenere il valore di rottura primo e ultimo, sottoponendo il provino ai carichi di compressione, secondo l'asse verticale. Come già specificato precedentemente, il prototipo è stato rettificato, ed in seguito sono stati aggiunti due strati di cartone, corrispondenti alle sezioni di interesse per la resistenza ai carichi verticali. Inserito il prototipo nella pressa idraulica, con i relativi due strati di separazione in cartone, si è proceduto con un lento ma progressivo posizionamento dei piani di appoggio della pressa rispetto al campione. Il test è durato circa 10 minuti, ed ha compreso un più lungo periodo di centratura del pezzo e graduale e lento posizionamento dei piani di appoggio, ed un secondo e più rapido momento di aumento di carico, fino a giungere alla rottura del pezzo.



*Illustrazione 90: Prova di carico a compressione per i carichi verticali*



*Illustrazione 91: Particolare che evidenzia l'adesione nella sola porzione con cartone interposto*



*Illustrazione 92: Pressa idraulica marca Galdabini, degli anni '60 utilizzata per le prove di carico*



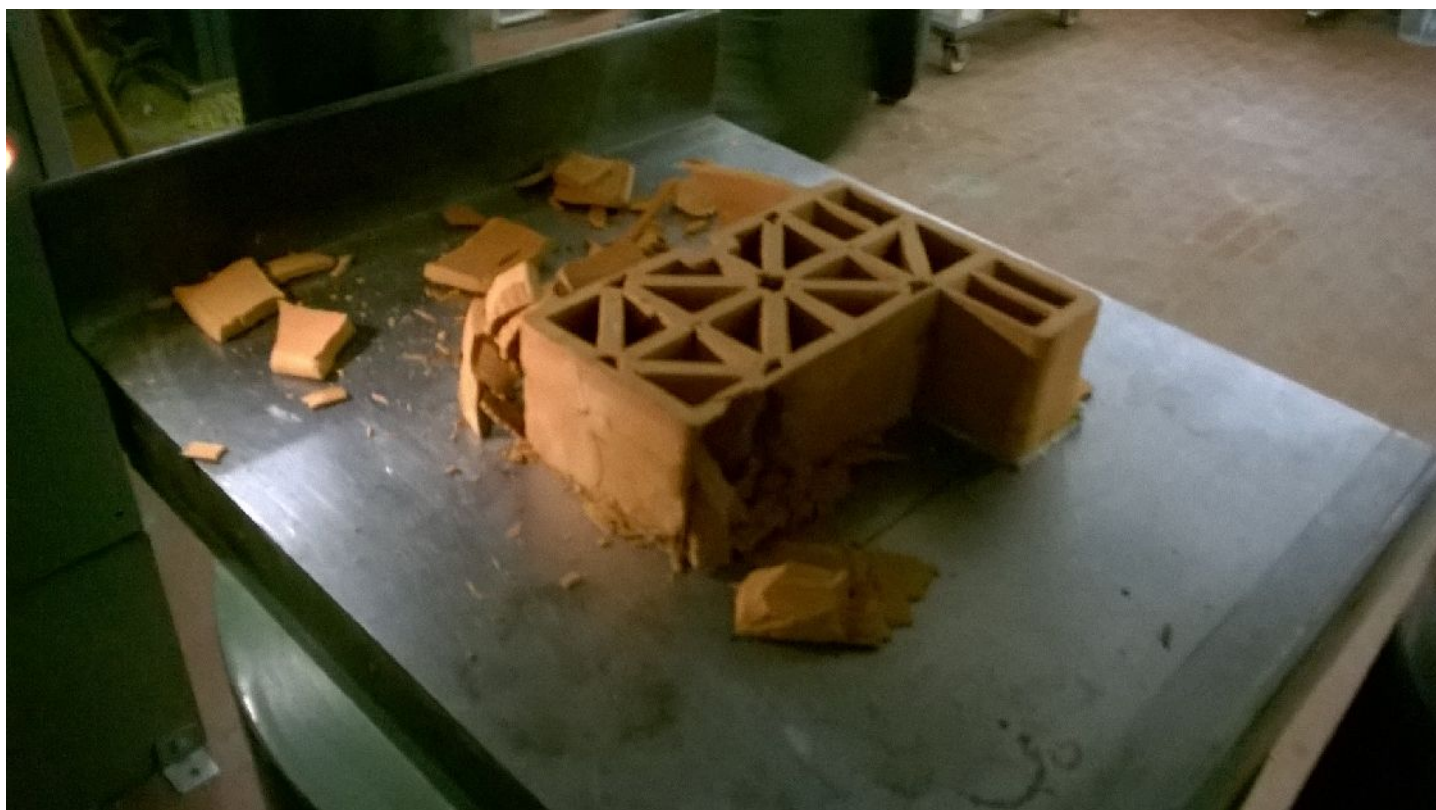
I valori ottenuti sono stati:

-330 KN come valore primo di rottura (prime crepe)

-338 KN come valore definitivo di rottura (rottura definitiva del pezzo)



*Illustrazione 93: Prototipo 1 frantumato dopo la prova di carico*



*Illustrazione 94: Prototipo 1 frantumato dopo la prova di carico, altra vista*

## Elaborazione dati sperimentali ottenuti dal test di carico:

Il primo passo è stato il calcolo delle aree lorde e nette della superficie di appoggio di progetto:

### Area Laterizio (design):

**Area Lorda (mmq):** 36884.1256

**Area forature (mmq):** 19924.868

**Area netta (mmq):**  $36884.1256 - 19924.868 = 16959.2576$  (mmq)

**%forature:**  $\frac{19924.868 * 100}{36884.1256} = \frac{2490608500}{46105157} = 54.02$

**%pieno:**  $100 - 54.02 = 45.98$  %

Il secondo passo è stato il calcolo delle aree lorde e nette della superficie di appoggio reali del prototipo:

### Area Laterizio (reale):

**Area Lorda (mmq):** 32994.3847

**Area forature (mmq):** 17823.6233

**Area netta (mmq):** = (mmq)  $32994.3847 - 17823.6233 = 15170.7614$  (mmq)

**%forature:**  $(17823.6233 * 100) / 32994.3847 = \frac{2490608500}{46105157} = 54.02$  %

**%pieno:**  $100 - 54.02 = 45.98$  %

Si sono poi annotati i valori di rottura prima e definitiva al test di carico:

### Valori di carico ottenuti dal test:

-Prima rottura 300 KN (rottura 1)

-Rottura definitiva 338 KN (rottura 2)

Si sono poi riscontrati i valori di resistenza a carico verticale su valori di progetto e reali:

### Valori di resistenza design attesi (valutazione su area lorda):

-Resistenza a valori di rottura 1 con area lorda. N/A (MPa):

$(300 * 1000) / 36884.1256 = 8.13358$  **MPa**

-Resistenza a valori di rottura 2 con area lorda. N/A (MPa):

$(338 * 1000) / 36884.1256 = 9.1638$  **(MPa)**

### Valori di resistenza reali riscontrati (valutazione su area lorda):

-Resistenza a valori di rottura 1 con area lorda. N/A (MPa):

$\frac{300 * 1000}{32994.3847} = 9.0924$  **(MPa)**

-Resistenza a valori di rottura 2 con area lorda. N/A (MPa):

$(338 * 1000) / 32994.3847 = 10.2441$  **(MPa)**

Si sono poi combinati al calcolo i coefficienti di normalizzazione rispetto alle modalità di essiccazione del provino e di rapporto h/d:

### Valori di resistenza reali riscontrati (valutazione su area lorda) con coefficienti di normalizzazione delle forze (normalizzazione h/d e modalità di asciugatura):

-Resistenza a valori di rottura 1 con area lorda. N/A (MPa):

$9.0924 * 1 * 0.6 = 5.45544$  **(MPa)**

-Resistenza a valori di rottura 2 con area lorda. N/A (MPa):

$10.2441 * 1 * 0.6 = 6.14646$  **(MPa)**



**Valori di resistenza design attesi (valutazione su area netta):**

**-Resistenza a valori di rottura 1 con area netta.** N/A (MPa):

$$(300 * 1000) / 16959.2576 = 17.6894 \text{ (MPa)}$$

**-Resistenza a valori di rottura 2 con area netta.** N/A (MPa):

$$(338 * 1000) / 16959.2576 = 19.9301 \text{ (MPa)}$$

**Valori di resistenza reali riscontrati (valutazione su area netta):**

**-Resistenza a valori di rottura 1 con area netta.** N/A (MPa):

$$(300 * 1000) / 15170.7614 = 19.7748 \text{ (MPa)}$$

**-Resistenza a valori di rottura 2 con area netta.** N/A (MPa):

$$(338 * 1000) / 15170.7614 = 22.2796 \text{ (MPa)}$$

**Valori di resistenza reali riscontrati (valutazione su area netta) con coefficienti di normalizzazione delle forze (normalizzazione h/d e modalità di asciugatura):**

**-Resistenza a valori di rottura 1 con area netta.** N/A (MPa):

$$(300 * 1000) / 15170.7614 = 19.7748 * 1 * 0.6 = 11.86488 \text{ (MPa)}$$

**-Resistenza a valori di rottura 2 con area netta.** N/A (MPa):

$$(338 * 1000) / 15170.7614 = 22.2796 * 1 * 0.6 = 13.36776 \text{ (MPa)}$$

# **I test di assorbimento idrico e IRS**

# Norma EN UNI 772-21 per l'assorbimento idrico di campioni in laterizio o silicato di calcio:

La norma regola l'iter procedurale di test e calcolo, per determinare il valore di assorbimento idrico di un campione immerso in acqua fredda per 24 ore. Il campo di applicazione si basa su due principali materiali il laterizio e il silicato di calcio:

## 1 Campo di applicazione

La norma specifica un metodo per determinare l'assorbimento di acqua di argilla e silicato di calcio su unità di muratura, immergendole in acqua fredda.

## 2 Riferimenti normativi

I seguenti documenti di riferimento sono indispensabili per l'applicazione del presente documento.

EN 771-1, Specifica per elementi di muratura - Parte 1: unità argilla muratura

EN 771-2, Specifica per elementi di muratura - Parte 2: elementi di muratura in silicato di calcio

EN 771-3, Specifica per elementi di muratura - Parte 3: Elementi di calcestruzzo (Dense e leggeri aggregati)

EN 771-4, Specifica per elementi di muratura - Parte 4: autoclavato elementi di muratura in cemento cellulare

EN 771-5, Specifica per elementi di muratura - Parte 5: Elementi per muratura di pietra artificiale

EN 771-6, Specifica per elementi di muratura - Parte 6: Elementi di muratura di pietra naturale

Le modalità applicative del processo di test, sono quelle esposte di seguito:

## 3 Principio

Dopo l'essiccamento a massa costante del campione di muratura, viene immerso in acqua per 24 ore e l'aumento di massa è così determinato.

La simbologia di riferimento per i successivi calcoli è la seguente:

## 4 Simboli

**M<sub>d</sub>** è la massa del campione dopo essiccazione (g);

**M<sub>s</sub>** è la massa del campione dopo l'immersione (g);

**W<sub>s</sub>** è l'assorbimento di acqua del campione (%).

Le attrezzature necessarie per realizzare il test sono:

## 5 Apparecchio

5.1 Un serbatoio d'acqua, sufficientemente grande da contenere tutti i campioni, il serbatoio deve permettere al campione di essere completamente immerso in tutte le facce dello stesso.

5.2 Un forno ventilato, in grado di mantenere una temperatura di 105 ° C + 5 ° C.

5.3 Uno strumento di pesatura, in grado di pesare i campioni con una precisione di 0,1% della loro massa, quando è a secco.

La preparazione dei campioni ed il test avviene nel seguente modo:

## 6 Preparazione

### 6.1 Campionamento

Il metodo di campionamento deve essere conforme con la parte rilevante della EN 771. Il numero minimo di campioni è fissato a sei, ma un numero minimo più grande può essere specificato nelle specifiche di prodotto, in questo caso, deve essere utilizzato il

numero più grande.

## 6.2 Asciugatura

Essiccare le provette a massa costante  $M_d$  in una stufa ventilata (5.2) alla temperatura di  $105\text{ }^\circ\text{C} + 5\text{ }^\circ\text{C}$ . Quando la massa costante viene raggiunta, dopo 24 ore di intervallo, si debba constatare che la perdita di massa tra le due determinazioni non sia più dello 0,2% della massa totale. Dopo lasciare gli esemplari raffreddare a temperatura ambiente prima di essere pesati.

### **Procedura di prova 7**

Mettete ogni unità nel serbatoio dell'acqua.

Lasciare l'unità di argilla sommerse per 24 ore + 0,5 h. Lasciare le unità di silicato di calcio sommerse per  $48\text{ h} \pm 0,5\text{ h}$ .

Prendete le unità del serbatoio e rimuovere l'acqua dalle loro superfici con un panno umido o una spugna.

Pesare i campioni e registrare la loro massa.

L'elaborazione dei dati ottenuti si avvia nel seguente modo:

### **8 Calcolo dei risultati**

Calcolare i  $W_s$  assorbimento d'acqua di ciascuna delle unità a meno di 1%.

$$W_s = ((M_s - M_d) / M_d) \times 100\%$$

### **9 Valutazione dei risultati**

Calcolare l'assorbimento d'acqua media a meno di 1%.

Successivamente la norma indica di effettuare un report tuttavia nello svolgimento del test ai fini della tesi non è stato realizzato:

### **Rapporto di prova 10**

Il verbale di prova deve contenere le seguenti informazioni:

- a) il numero, il titolo e la data di emissione della presente norma europea;
- b) nome dell'organizzazione che ha effettuato il campionamento e il metodo utilizzato;
- c) la data della prova;
- d) la descrizione degli esemplari di EN 771-1 o EN 771-2 come è stato fatto il rilievo;
- e) il numero di esemplari del campione;
- f) la massa di ciascun campione secco e dopo l'immersione;
- g) periodo di ammollo in ore;
- h) individuale e valori di assorbimento d'acqua a meno di 1% media;
- i) osserva, se presente.



## Preparazione del campione con cottura e successiva pesata:

Il sigolo campione è stato essiccato in forno ad una temperatura di  $105^{\circ} + 5^{\circ}$  per 24 h, successivamente è stato pesato con bilancia elettronica. Il valore rilevato del campione secco ovvero Md è stato 3321,5 g.



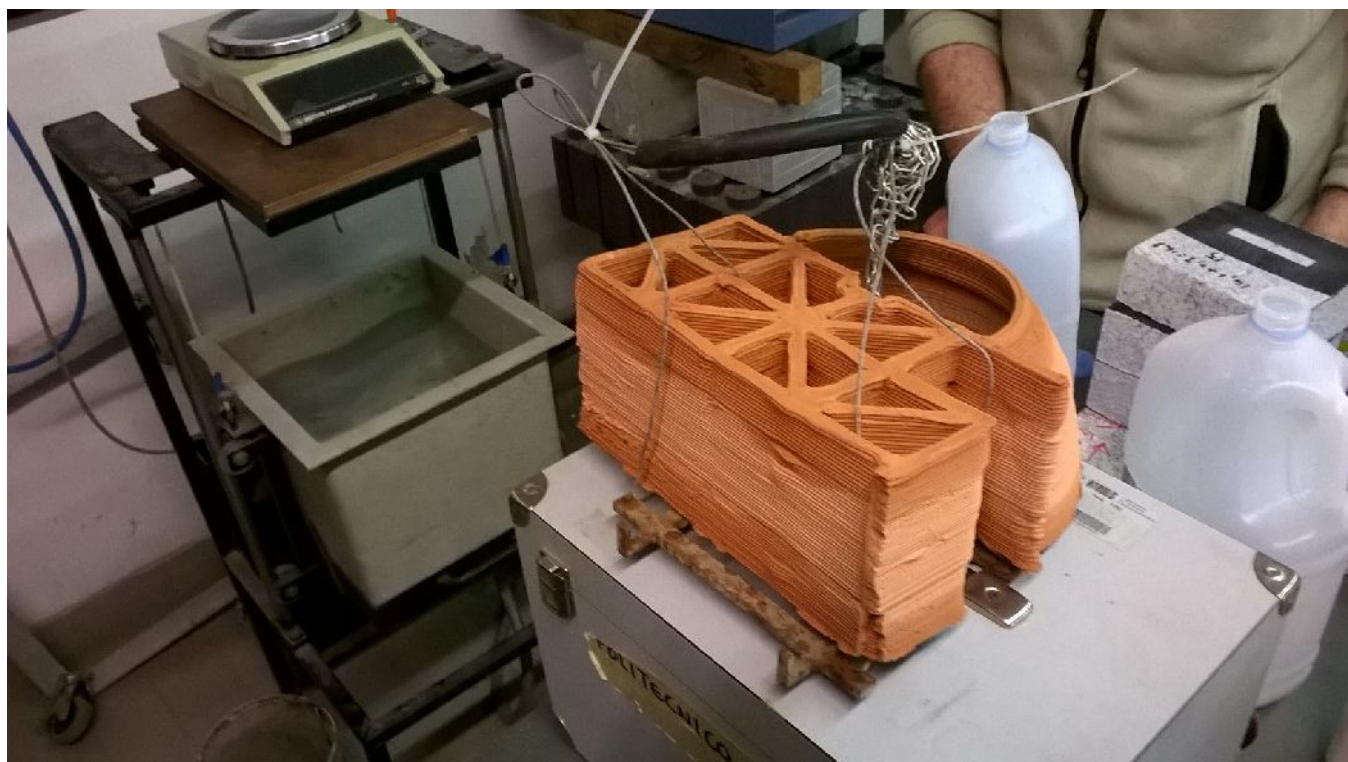
*Illustrazione 95: pesatura su bilancia elettronica e scrittura dei valori su report cartaceo*

Successivamente si è operato con l'immersione totale del campione in vasca con acqua demineralizzata. L'immersione ha avuto la durata di  $24 \text{ h} + 0.5 \text{ h}$ . L'allestimento del supporto e dei tiranti per tenere il campione in completa immersione, senza contatto con le superfici della tanica, ha comportato diversi tentativi preparatori.



*Illustrazione 96: il sistema permette una pesata idrostatica ovvero con il campione completamente immerso in acqua*

Sono stati così ottenuti dei valori di pesatura, dopo il periodo di  $24+0.5$  h di ammollo, che si riportano: peso saturo (24 ore immersione totale): 3951,6 g  
peso idrostatico (primo allestimento):  $2399,7-443,73$  (tara)= 1955,97 g  
peso idrostatico (secondo allestimento-v.foto) : 1969,6 g  
Con la tara si riporta in sottrazione il peso degli elementi di sostegno del campione ovvero i tiranti ed il basamento su cui si è appoggiato durante l'immersione. Con primo e secondo allestimento si riportano i valori ottenuti con due modalità analoghe ma differenti, di fissaggio per l'immersione nella tanica del campione.



*Illustrazione 97: preparazione del primo allestimento*



*Illustrazione 98: preparazione del primo allestimento con operatore*

## Elaborazione dati sperimentali ottenuti dal test:

La simbologia per effettuare i calcoli è la seguente:

**Md** è la massa del campione dopo essiccazione (g);

**Ms** è la massa del campione dopo l'immersione (g);

**Ws** è l'assorbimento di acqua del campione (%).

$$Md = \mathbf{3321,5 \text{ g}}$$

$$Ms = \mathbf{3951,6 \text{ g}}$$

$$Ws = ((Ms - Md) / Md) \times 100\%$$

$$Ws = ((3951.6 - 3321.5) / 3321.5) \times 100 = \mathbf{18.97\%}$$

## **1 Campo di applicazione della norma UN EN 772-11 per IRS:**

La norma specifica un metodo per la determinazione del coefficiente di assorbimento d'acqua per risalita capillare di vari materiali tra cui il laterizio. I riferimenti normativi inoltre sono i seguenti:

### **2 Riferimenti normativi**

I seguenti documenti di riferimento sono indispensabili per l'applicazione del presente documento.

EN 771-1, Specifica per elementi di muratura - Parte 1: unità argilla muratura

EN 771-2, Specifica per elementi di muratura - Parte 2: elementi di muratura in silicato di calcio

EN 771-3, Specifica per elementi di muratura - Parte 3: Elementi di calcestruzzo (Dense e leggeri aggregati)

EN 771-4, Specifica per elementi di muratura - Parte 4: autoclavato elementi di muratura in cemento cellulare

EN 771-5, Specifica per elementi di muratura - Parte 5: Elementi per muratura di pietra Prodotto

EN 771-6, Specifica per elementi di muratura - Parte 6: Elementi di muratura di pietra naturale

EN 772-16, Metodi di prova per elementi di muratura - Parte 16: Determinazione delle dimensioni

Il principio del test si basa sull'assorbimento capillare per un tempo  $t$ :

### **3 Principio**

Dopo l'essiccamento a massa costante, una faccia dell'unità in muratura è immersa in acqua per un periodo specifico di tempo e in questo modo l'aumento di massa è determinato. Nel caso di elementi di muratura in laterizio viene misurata la velocità iniziale di assorbimento della superficie di appoggio.

La simbologia di riferimento è la seguente:

### **4 Simboli**

$m_{dry}$ ,  $s$  è la massa del campione dopo essiccamento, (g);

$m_{SO}$ ,  $s$  è la massa del campione in grammi dopo immersione per il tempo  $t$ , (g);

Come è l'area lorda della faccia del campione immerso in acqua, ( $mm^2$ );

$t_{so}$  è il tempo di ammolto, (s);

$cw$ ,  $s$  è il coefficiente di assorbimento d'acqua per capillarità per calcestruzzo aggregati porosi di calcestruzzo, pietra naturale e le unità in muratura di pietra lavorati;

$CWI$ ,  $s$  è la velocità iniziale di assorbimento d'acqua per elementi di muratura in laterizio, [ $kg / (m^2 \times min)$ ].

La strumentazione utile è la seguente:

### **5 Apparato**

5.1 Si utilizza un grande vassoio della profondità minima di 20 mm e di area maggiore della superficie della base di appoggio del campione. Il campione viene immerso nella vasca con un dispositivo per mantenere costante il livello di acqua nella vasca.

5.2 Si utilizza un dispositivo di 400  $mm^2$  massimo di area, come supporto per mantenere ogni campione al giusto livello di altezza ed immersione.

5.3 Viene utilizzato un cronometro per stimare i tempi di immersione.

5.4 Viene utilizzato un forno ventilato in grado di mantenere una temperatura di  $70 \text{ }^\circ\text{C} \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$  per calcestruzzo lavato, cemento poroso, pietra naturale e per le unità di pietra artificiale o  $105 \text{ }^\circ\text{C} \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$  per le unità di laterizio.

5.5 Viene utilizzato un sistema di pesatura in grado di pesare i campioni con una precisione di 0,1% della loro massa quando il campione è asciutto.



I campioni sono preparati secondo le seguenti procedure di essiccazione:

## 6 Preparazione di campioni

### 6.1 Campionamento

Il metodo di campionamento deve essere conforme con la parte rilevante della EN 771. Il numero minimo di campioni è sei, ma un numero minimo più grande può essere specificato nel disciplinare di produzione.

### 6.2 Asciugatura

Essiccare i campioni ad una costante  $m_{dry}$  di massa,  $s$  in forno ventilato (5.4) ad una temperatura di  $70\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$  per calcestruzzo lavato, calcestruzzo aerato autoclavato, pietra naturale e unità pietra artificiale e per muratura in laterizio a  $105\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$ . La massa costante viene raggiunta, se durante il processo di essiccazione in due successive pesate con un intervallo di 24 ore, la perdita di massa tra le due determinazioni non è più dello 0,1% del massa totale.

Il test avviene secondo le seguenti modalità:

## Procedura di prova 7

Lasciare raffreddare i campioni a temperatura ambiente. Una volta raffreddati, misurare le dimensioni delle facce che dovranno essere immerse in conformità al principio incorporato in EN 772-16 e calcolare quindi l'area lorda. Il campione deve essere immerso nella vasca con acqua e mantenuto ad un'altezza costante di immersione, tramite un dispositivo di livellamento, un semplice supporto meccanico. Immergere in acqua ad una profondità di  $5\text{ mm} \pm 1\text{ mm}$  per la durata della prova. Nel caso di elementi di muratura con un volto estremamente irregolare, aumentare il livello dell'acqua in modo tale che l'intera superficie sia a contatto con la superficie dell'acqua.

Attivare contemporaneamente il cronometro. Mantenere il livello dell'acqua costante durante tutta la prova. Per calcestruzzo lavato, autoclave cemento cellulare, pietra naturale e le unità di pietra artificiali, coprire il serbatoio per evitare l'evaporazione dai campioni umidi. Dopo il tempo di immersione ( $t_{so}$ ) specificato nella EN 771-1, EN 771-3, EN 771-4, EN 771-5 o EN 771-6 rimuovere il campione, pulire l'acqua superficiale e pesarli ( $M_{SO}$ ,  $s$ ). Per le unità di muratura di pietra naturale, togliere i campioni dall'acqua ad intervalli regolari, pulire l'acqua, pesare, poi ri-immersione. Continuare questa procedura fino a quando non si osserva alcun ulteriore aumento di massa. Per alcune unità in laterizio le velocità iniziali di assorbimento d'acqua possono differire per le due facce di appoggio, in quei casi sarà necessario misurare l'assorbimento su entrambe le facce.

I risultati ottenuti sono introdotti nella seguente formula di calcolo:

## 8 Calcolo ed espressione dei risultati

8.3 velocità iniziale di assorbimento di acqua di elementi di muratura in laterizio.

Calcolare il tasso iniziale di assorbimento d'acqua di ciascuna unità in laterizio, con l'approssimazione di  $0,1\text{ kg} / (\text{m}^2 \times \text{min})$  con la seguente formula:

in cui  $t = 1\text{ min}$ .

$$c_{w,i} = \frac{m_{so,s} - m_{dry,s}}{A_s t} \times 10^3 \left[ \text{kg} / (\text{m}^2 \times \text{min}) \right]$$

where  $t = 1\text{ min}$ .

## 9 Valutazione dei risultati

Per calcestruzzo lavato e unità in muratura di pietra artificiale calcolare la media dei coefficienti di assorbimento d'acqua per capillarità con l'approssimazione di  $0,1 \text{ g} / \text{m}^2$  (xs). Per gasbeton autoclavato e pietra naturale elementi di muratura calcolare la media dei coefficienti di assorbimento d'acqua per capillarità con l'approssimazione di  $1 \text{ g} / (\text{m}^2 \times s_{0,5})$ . Per elementi di muratura in laterizio calcolare la media dei tassi iniziali di assorbimento d'acqua con riferimento a  $0,1 \text{ kg} / (\text{m}^2 \times \text{min})$ .

Il rapporto della prova avviene secondo norma in queste modalità: (tuttavia per i fini della tesi non è stato realizzato il report)

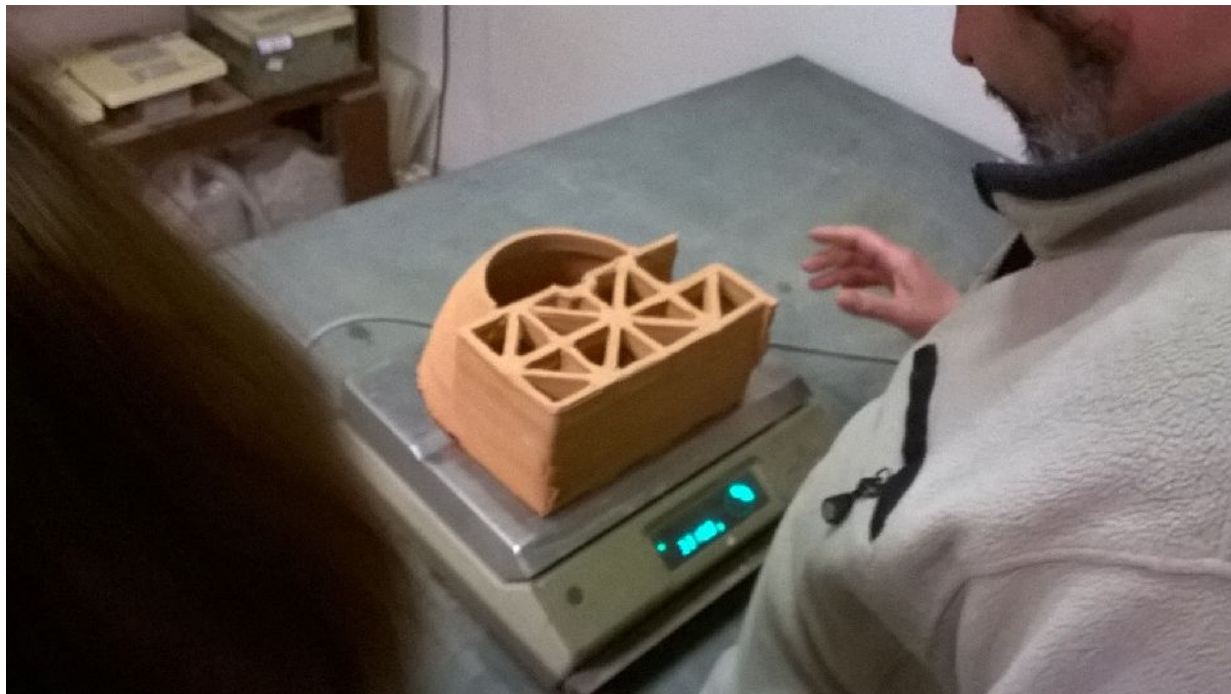
### Rapporto di prova 10

Il verbale di prova deve contenere le seguenti informazioni:

- a) il numero, il titolo e la data di emissione della presente norma europea;
- b) nome dell'organizzazione che ha effettuato il campionamento e il metodo utilizzato;
- c) data di collaudo;
- d) la descrizione degli esemplari per la parte rilevante della EN 771;
- e) il numero di esemplari del campione e se si tratta di unità intere o porzioni rappresentative;
- f) la data di ricevimento dei campioni nel laboratorio di analisi;
- g) per il calcestruzzo lavato e fabbricato in muratura di pietra unità, i valori individuali di assorbimento di acqua  
Coefficiente per capillarità l'approssimazione di  $0,1 \text{ g} (\text{xs} \text{ m}^2)$  per ciascuna unità, la lunghezza del tempo di immersione e il coefficiente medio di assorbimento d'acqua per capillarità l'approssimazione di  $0,1 \text{ g} (\text{m}^2 \text{ xs})$ ;
- h) per le unità di calcestruzzo aerato e naturale in muratura di pietra in autoclave, i valori individuali di acqua  
coefficiente di assorbimento per capillarità l'approssimazione di  $1 \text{ g} / \text{m}^2 (\text{xs} 0,5)$  per ciascuna unità, il periodo di tempo di immersione e il coefficiente medio di assorbimento d'acqua per capillarità al più vicino  $1 \text{ g} / (\text{m}^2 \times 0,5 \text{ s})$ . Per stato di elementi di muratura di pietra naturale se il volto prova era parallelo o perpendicolare i piani di stratificazione;
- i) per le unità di muratura in laterizio, i valori individuali di velocità iniziale di assorbimento di acqua al più vicino  $0,1 \text{ kg} / (\text{m}^2 \times \text{min})$ , e la media dei tassi iniziali di assorbimento di acqua con l'approssimazione di  $0,1 \text{ kg} / (\text{m}^2 \times \text{min})$ ;
- j) osservazioni, se presenti.

## Iter procedurale IRS:

L'iter procedurale seguito, ha previsto la pesatura del campione dopo essiccazione in forno. La pesatura è avvenuta in contemporanea con la medesima fase del test precedente per l'assorbimento idrico ad acqua. In particolare è stato realizzato un unico processo di essiccazione per il medesimo periodo di tempo, con successiva pesatura a secco. Si riporta immagine e dato rilevato: peso secco 3321,5 g



*Illustrazione 99: rilevatura del peso a secco dopo opportuna essiccazione in forno a 105 °*



*Illustrazione 100: inserimento del campione in vasca con livello di acqua costante tramite supporto di appoggio*

Successivamente è stato immerso il campione sulle entrambe le facce di appoggio, una alla volta. In questo modo per un unico campione si sono potuti rilevare due valori di assorbimento IRS, rispettivamente per la faccia superiore ed inferiore di appoggio dello stesso.

Contemporaneamente è stato avviato il cronometro per valutare il tempo  $t=1$  minuto. A tempo scaduto è stato estratto il campione dalla vasca, opportunamente asciugato e nuovamente pesato.



*Illustrazione 101: fase di controllo con il cronometro*

Successivamente è stata ripetuta la procedura con la successiva faccia di appoggio, in questo caso la faccia inferiore. Il campione è stato lasciato in ammollo per un altro minuto e poi è stato calcolato il peso dopo l'assorbimento. Il valore netto di assorbimento rilevato è stato ottenuto sottraendo al valore di assorbimento attuale, il precedente rilevato (MSO1-MDRY).



## **Elaborazione dati sperimentali ottenuti dal test:**

mdry, s è la massa del campione dopo essiccamento, (g);

M<sub>SO</sub>, s è la massa del campione in grammi dopo immersione per il tempo t, (g);

Come è l'area lorda della faccia del campione immerso in acqua, (mm<sup>2</sup>);

t<sub>so</sub> è il tempo di ammollo, (s);

cw, s è il coefficiente di assorbimento d'acqua per capillarità per calcestruzzo aggregati porosi di calcestruzzo, pietra naturale e le unità in muratura di pietra lavorati;

CW<sub>I</sub>, s è la velocità iniziale di assorbimento d'acqua per elementi di muratura in laterizio, [kg / (m<sup>2</sup> × min)].

### **Area Laterizio (reale):**

**Area Lorda (mmq):** 32994.3847 mmq

**Area netta (mmq):** 15170.7614 mmq

peso secco 3321,5 g

Peso dopo 1 min contatto con battente acqua faccia sup: 3411,1 g

Peso dopo 1 min contatto con battente acqua faccia inf: 3419,7 g

CW<sub>i</sub> = ((M<sub>so,s</sub> - M<sub>dry,s</sub>) / A<sub>st</sub>) × 1000 (kg / (mq × min.))

**M<sub>so</sub> - M<sub>dry</sub> = 89.6 gr. = 0.089 kg**

**CW<sub>i1</sub> = 5906.09** (kg / (mq × min.))

**CW<sub>i2</sub> = 606.42** (kg / (mq × min.))

# Valutazioni qualitative

## Confronto con altri laterizi standard secondo i parametri dei test:

La seguente tabella riguarda un laterizio "tipo" utile per il confronto con il prototipo realizzato e testato per questa tesi. Il laterizio standard selezionato è del tipo forato UNI 12.5x12.5x25 cm. Questo tipo di laterizio è confrontabile con il prototipo di tesi per la sua analogia geometrica di massima. La sezione resistente del prototipo realizzato infatti si discosta da questo, per geometria interna e per l'altezza, che risulta essere inferiore di 4.5 cm nel prototipo realizzato. Questo fattore come già espresso precedentemente è stato penalizzante ai fini di calcolo per la resistenza ai carichi verticali, in relazione al rapporto b/d e conseguente fattore di normalizzazione. La tipologia forato UNI non risulta reperibile sul mercato con altezza 8 cm, risulta quindi non realizzabile un confronto tra laterizi con medesime quote massime di ingombro. Il laterizio selezionato ha la medesima area di massima del prototipo di tesi, questo può garantire un certo grado di accuratezza nel confronto da i 2 campioni.

Il dato essenziale per il confronto risulta essere la resistenza ai carichi verticali, che vediamo essere di 40 N/mm<sup>2</sup> nella faccia base di nostro interesse. Il test di carico sul prototipo, ha fornito invece un valore di \_\_\_\_\_. In entrambi i campioni la soglia limite di 5 MPa è garantito.


Caratteristiche essenziali		Prestazione
Dimensioni	Lunghezza	125 mm
	Larghezza	250 mm
	Altezza	125 mm
	Tolleranza dimensionale	T1
	Range	R1
Configurazione	Percentuale dei vuoti	≤ 50 %
	Spessore minimo setti interni	8 mm
	Spessore minimo pareti esterne	10 mm al netto della rigatura
	Area max sezione normale di un foro	720 mm <sup>2</sup>
	Numero fori di presa	1
	Area foro/i di presa	930 mm <sup>2</sup>
Resistenza a compressione	Categoria	<b>I</b>
	Valore medio	40,0 N/mm <sup>2</sup> (⊥ facciabase) direzione parallela ai fori
		6,0 N/mm <sup>2</sup> (⊥ testa) direzione ortogonale al piano della muratura di spessore 250 mm
	8,0 N/mm <sup>2</sup> (⊥ testa) direzione ortogonale al piano della muratura di spessore 125 mm	
Forza di adesione malta-laterizio	Valore tabellare da EN 998-2	0,30 N/mm <sup>2</sup>
Contenuto sali solubili	Categoria	S0 – da non lasciare esposto
Reazione al fuoco	Euroclasse	A1
	Assorbimento d'acqua	NPD – da non lasciare esposto
Permeabilità al vapore d'acqua	Valore tabellare da UNI EN 1745	μ = 10
Densità secca lorda (cat. D1)	Min	810 kg/m <sup>3</sup>
	Max	990 kg/m <sup>3</sup>
Conducibilità termica	(λ <sub>10,dry,unit</sub> , P3)	0,274 W/mK (spessore 250 mm)
		0,276 W/mK (spessore 125 mm)
Resistenza al gelo-disgelo	Classe	F0 – da non lasciare esposto
Sostanze pericolose <sup>(1)</sup>	<sup>(1)</sup> Informazioni sulle sostanze pericolose sono fornite solo quando e laddove richiesto ed in forma appropriata	

Tabella 7: valori del laterizio 2 UNI dell'azienda Siai srl

## Forato 12x25x25

Cod. Art.: F1225



### Elenco Parametri Tecnici

01 - Altezza	<b>cm</b>	25
02 - Spessore	<b>cm</b>	12
03 - Lunghezza	<b>cm</b>	25
05 - Peso medio	<b>kg</b>	4.5
06 - Foratura	<b>%</b>	60<70
07 - Spessore minimo pareti esterne	<b>mm</b>	8
08 - Spessore minimo setti interni	<b>mm</b>	6
09 - Massa volumica apparente	<b>kg/mc</b>	600
10 - Conduttività equiv. del blocco (materiale secco)	<b>W/mK</b>	0.233
11 - Conduttività equiv. di parete (malta normale) (1)	<b>W/mK</b>	0.255
15 - Pz in opera / mc	<b>Nr.</b>	124
16 - Pz in opera / mq	<b>Nr.</b>	15
17 - Incidenza giunti di malta	<b>dmc/mq</b>	13
18 - Massa superficiale (escluso intonaco)	<b>kg/mq</b>	91
19 - Resist. alla compressione direz. carichi verticali	<b>N/mm<sup>q</sup></b>	>= 5
21 - Potere fonoisolante Rw (5)	<b>dB</b>	43
25 - Categoria	<b>cat</b>	I
26 - Pz / pacco	<b>Nr.</b>	135
27 - Classe di reazione al fuoco	<b>ec</b>	EUROCLASSE A1

Tabella 8: valori del laterizio per tavolati non portante dell'azienda Siai srl

In questo altro laterizio di confronto, una tavola da tramezzature sempre del marchio SIAI srl, risulta evidente come il valore di resistenza ai carichi verticali sia decisamente inferiore al precedente (che aveva qualità portanti) ma ripseetti sempre la soglia limite da normativa, di 5 MPa. In quest'ottica il prototipo di tesi sembra collocarsi più verso un quadro prestazionale riferibile a tavolati non portanti, rispettando in ogni caso i valori di soglia da normativa. Il prototipo non nasce infatti con la prerogativa di collocarsi in rapporto con laterizi portanti, vuole piuttosto vagliare il potenziale e le prestazioni di una produzione di stampa 3d su questo tipo di materiale.



## Analisi tempi-costi:

Non risulta di semplice esecuzione, la realizzazione di un paragone tra le tecnologie di produzione standard per trafilatura e quelle di stampa 3d, sempre per argilla. Per tentare di realizzare questo confronto con le successive valutazioni qualitative, si tenterà di stabilire il confronto con la variabile principale in gioco, ovvero il tempo di produzione. Sempre basandosi sui prodotti SIAI ovvero il blocco portante 2UNI (125x250x125 mm) ed il forato (250x120x250 mm), si è potuto stabilire, su indicazioni specifiche da parte dell'azienda coinvolta, che per realizzare dei lotti di produzione da 200.000 pezzi, siano necessari 6 giorni. Se idealmente stimassimo il tempo di produzione di un singolo pezzo, dividendo i 6 giorni per i 200.000 blocchi, otterremmo che per un pezzo sarebbe necessario un tempo ideale di 2.592 secondi. Ovviamente questo dato non corrisponde alla realtà perchè per realizzare un pezzo servono comunque 6 giorni però in quei 6 giorni se ne potranno produrre parallelamente 200.000 pezzi. Se ci riferiamo invece al processo di stampa 3d possiamo valutare dal software di interfaccia<sup>13</sup>, i tempi di realizzazione della stampa. Per il modulo ore ovvero di 4 ore ( con noozle 1.5 mm ed altezza del layer 1.5 mm), per realizzarli entrambi. Va premesso che la preparazione dell'argilla, i settaggi della stampante, e la possibilità che la prima stampa non vada a buon fine, non sono computati nel calcolo. In ogni caso 4 ore per realizzare un singolo pezzo sembrano decisamente non competitivi rispetto alle tecnologie tradizionali, questo è il punto. Va indicato che modificando i parametri di estrusione e di altezza layer (modificando in sintesi sia il noozle ovvero il diametro di estrusione che l'altezza del layer ovvero determinando una minore precisione in z) si possono dimezzare i tempi da 4 ore a 2 ore complessive, realizzando un oggetto più grezzo nei suoi aspetti esteriori. Il paragone sembra essere dunque 2.6 secondi secondo le tecnologie standard e 2 h secondo il processo di stampa 3d, il rapporto è di 1:2777 volte ovvero infinitamente maggiore. Un secondo confronto va espresso secondo i termini di costo del singolo pezzo. Sempre partendo da dati aziendali SIAI si è potuto constatare che il blocco portante 2 UNI abbia un costo al pezzo di 0.25 euro, per il forato il prezzo è un po' maggiore ovvero di 0.40 euro al pezzo. Questa iniziale differenza di prezzo è dovuta alla maggiore superficie che il forato occupa secondo il piano xz oyz ovvero secondo il piano verticale delle pareti. In particolare il prezzo al mq del blocco portante 2 UNI risulta essere di 7 euro/mq, per il forato invece il prezzo risulta di 5 euro/mq.

Per attuare un paragone sul termine costo, tra tecnologia di trafilatura standard e stampa 3d di argilla bisogna fare delle considerazioni priliminari. Attualmente infatti il processo di stampa 3d non è impiegato nella realizzazione di pezzi per l'industria delle costruzioni. Risulta complesso per questo poter stabilire un prezzo a priori, dovendo ancora stabilire le potenzialità applicative di questo processo, che potrebbero prescindere dalla competizione con grandi impianti industriali e quindi non basarsi sulle stesse economie di scala ma più verosimilmente su altre.

Il vero quesito che ci si può porre è: può il processo di stampa 3d per argilla competere sui 7-5 euro/mq? senza alcun business plan pare lampante un'immediata risposta ovvero no, per precisione si ma senza profitto. Questa risposta che non vuole essere un azzardo, non si basa su calcoli effettivi ma su una valutazione probabilistica. In ogni caso potrebbe essere plausibile competere se in un impianto produttivo si optasse per avere 2777 stampanti (secondo il rapporto di scala temporale precedentemente calcolato) in grado di competere con i numeri di un impianto standard (anche se di contro potrebbero essere maggiori oneri dovuti a mano d'opera specializzata). Si cercherà nel seguente paragrafo di stabilire piuttosto le potenzialità applicative di questo innovativo processo con il fine di individuarne nicchie di mercato disposte a pagare un prodotto-servizio che ne legittimi un maggiore costo al pubblico, secondo un' ipotesi di business model.

---

<sup>13</sup> Slicer o Repetier Host

## Conclusioni, applicazioni e possibile business model:

Le conclusioni di questo lungo ed intenso processo, sperimentale, progettuale e prototipale, hanno portato alla valutazione sia degli aspetti di confronto strutturale dei campioni prodotti, che ad aspetti di confronto sul rapporto tempo-costi di questo innovativo processo produttivo. Per questo si intende portare, in fase conclusiva, alla convergenza degli aspetti di confronto emersi, con gli ambiti applicativi esistenti o inesplorati ed inediti e che possano così vedere un impiego di questo metodo produttivo in ambito architettonico ed edilizio. In questo senso la valutazione conclusiva vuole portare gli aspetti salienti del lavoro effettuato verso una loro potenziale applicazione concreta nell'ambito dell'industria edilizia, delineando in fase conclusiva un'ipotesi di business model, che possa prevedere l'impiego sinergico della stampa 3d per argilla per fini architettonici in nuovi scenari applicativi ed ambiti di intervento che ne sfruttino la sofisticatezza formale-compositiva dei componenti e ne legittimino un plus valore e quindi un prezzo di mercato realistico. In particolare, procedendo per ordine, è emerso dalla valutazione della resistenza ai carichi verticali, del singolo campione testato, un valore adeguato alla normativa di riferimento. Il valore ha superato o pareggiando di poco il valore di 5 MPa (nello specifico tra i 5.45 ed i 6.14 Mpa). Questa valutazione ha tenuto conto di una computazione dell'area lorda per calcolare la resistenza ovvero l'area di ingombro massima in pianta, del campione. Contrariamente a quanto si possa ipotizzare la norma UNI non valuta infatti l'area netta di riferimento, ad esclusione di particolari casi in cui la foratura non sia passante e sia riempita di malta ovvero nel caso di incavi. Per questo motivo il fattore di resistenza è risultato in *primis* praticamente dimezzato, rispetto alla valutazione sull'area netta. In effetti oltre alla prescrizione normativa, da cui non si può prescindere, ci sono ulteriori fattori sia di progetto, che di composizione del mix di argilla utilizzato, che possono aver inficiato sui valori di resistenza, i quali nonostante risultino adeguati ai minimi di normativa, risultano assai lontani dai 40-60 MPa ottenuti da laterizi portanti sul mercato. Il primo di questi fattori è senza dubbio la percentuale di forature presenti nella sezione planare del campione, che non è stata dimensionata secondo un principio di resistenza ai carichi verticali particolarmente sofisticato. Questa percentuale infatti, più o meno arbitrariamente, è stata calcolata intorno al 54% ovvero un alto indice di vuoti. Un secondo fattore è sicuramente la geometria della sezione planare sia in due dimensioni che stereometricamente ovvero in 3d. Una corretta progettazione della geometria potrebbe distribuire gli sforzi ad esempio dal senso verticale a quello orizzontale, facendo convergere gli sforzi del materiale in un modo semi isotropo e potenzialmente aumentando in questo modo il fattore di resistenza ai carichi verticali. Questi ulteriori fattori, che si potrebbero chiamare progettuali, sono stati deficitari a causa del cronoprogramma di tesi, che ha realizzato il design e la prototipazione in modo antecedente rispetto alla fase di test e successiva valutazione numerica del valore di resistenza e non avendo reperito ulteriori risorse e strumentazioni per reiterare una successiva serie di campioni nelle fasi seguenti. Questi fattori di aumento della resistenza ai carichi verticali, possono tuttavia suggerire successive implementazioni di tesi o studi per questo specifico ambito di ricerca. Il secondo aspetto che può aver inficiato la resistenza del campione è il mix di argilla. Su indicazioni della stessa azienda Siai srl e del laboratorio Più Lab, è emerso che gran parte della resistenza oltre agli aspetti stereometrici, possa essere imputato alla resistenza del materiale. Sempre su questo fronte la ricerca futura potrebbe beneficiare di notevoli contributi oltre gli studi architettonici. Per il mix adottato dei campioni, è stato seguito un impasto suggerito dal Più Lab del Politecnico di Milano. La ricerca del materiale idoneo per la stampa 3d di argilla, potrebbe infatti permettere grandi futuri sviluppi di questo processo, garantendo sia fluidità nel processo che solidità, prima e dopo la cottura. L'analisi dei tempi e dei costi ha messo in luce invece l'inadeguatezza delle attuali stampanti 3d per argilla in

confronto con le serie dei grandi stabilimenti produttivi di trafilatura e cottura per laterizio. Il termine di confronto temporale, per la produzione di un pezzo ed un lotto, pone infatti un rapporto sfavorevole per la singola stampante di 1:2700, senza computare in ogni caso il tempo di cottura dei pezzi stampati in 3d. In questo senso l'economia di scala di un impianto per trafilatura e cottura del laterizio, può garantire e produrre lotti infinitamente maggiori rispetto ad un impianto con singola o singole stampanti 3d. Non sarebbe impossibile immaginare per il futuro grandi fabbriche con servizio custom, analogamente a quanto avviene per i centri di taglio al laser, fresatura o idrogetto. Tuttavia il vincolo principale per singola lavorazione di un pezzo, ad oggi sarebbe notevolmente superiore rispetto agli ideali 2.6 secondi per un blocco trafilato e cotto. Di certo si potrebbe immaginare una fabbrica con numerose stampanti 3d per argilla che lavorino simultaneamente, velocizzando il processo di produzione di un lotto. Non è in ogni caso intenzione di questa tesi porre l'attenzione sulle possibili applicazioni di impianti produttivi per stampa 3d di argille né di doverli confrontare con l'esistente. E' invece intenzione di questa tesi valutare gli aspetti salienti dei prodotti-servizi che si possano realizzare in stampa 3d per argilla e valutarne quindi degli ambiti applicativi, partendo dal prodotto servizio che si possa produrre.

Il business model ipotizzato, parte da un lato dalla configurazione professionale e produttiva che ruota intorno al processo edilizio e alla stampa 3d. Da un altro punto di vista il mercato di riferimento attuale dei componenti edilizi si basa su 3 categorie merceologiche, su 3 ambiti applicativi consolidati nello scenario edilizio ed architettonico. In particolare si è valutato che i principali attori del processo decisionale, progettuale ed esecutivo del processo edilizio e alla stampa 3d sono 6. Il primo è il committente, sia esso un privato, una pubblica amministrazione, una società immobiliare o società di altro ipo. Questo tassello del quadro solitamente ha il ruolo decisionale negli aspetti di programmazione economica. Il secondo cluster è rappresentato dai progettisti, siano essi geometri, architetti, ingegneri o raggruppamenti di essi. Questo cluster ha il ruolo da un lato di mediare tra il processo ideativo, selettivo, esecutivo, progettuale e di cantiere e dall'altro di relazione con la committenza. Il potere di questo cluster è quello di selezione, tipicamente rispetto ai fornitori. L'ultimo gruppo di 4 attori è quello del mondo produttivo, tipicamente di prodotti e servizi nel campo dell'industria edilizia, in quello che potremmo definire il raggruppamento del cluster produttivo. Il ruolo di questi attori è quello di produrre le architetture, tipicamente aziende di costruzioni e di fornitura di prodotti o servizi mirati per il cantiere, tra cui può rientrare una produzione di prodotti in laterizio, stampati in 3d. In questo raggruppamento rientrano Piccole imprese, PMI, artigiani e Fab Lab. I fab lab tipicamente non rientrano nel cluster produttivo però possono padroneggiare sia i processi produttivi di fabbricazione digitale, che gli aspetti progettuali tipici del cluster dei progettisti. In questo senso il tassello dei fab lab, in questo articolato scenario, può essere inteso come fattore di catalizzazione di processi prototipali, progettuali e produttivi, con i limiti di una fabbricazione di piccole serie o pezzi unici<sup>14</sup>. In questo senso i fab lab sono a metà strada tra lo studio di progettazione avanzato e l'azienda produttiva, con una economia di scala ancora basata su piccole serie o pezzi unici. Dopo aver delineato le figure chiave del processo edilizio, si intende realizzare un focus sul prodotto o servizio di stampa 3d per argilla con la possibilità di customizzare ogni volta il design. Questo tipo di prodotto-servizio, si basa appunto sulla possibilità di realizzare design specifici, site specific, differenti per ogni manufatto edilizio. Questi aspetti progettuali e di customizzazione sono il fulcro del plus valore dell'offerta rispetto al mercato standard, prescindendo dal rapporto qualità prezzo dei prodotti da realizzare. Il posizionamento ideale per questo tipo di prodotto-servizio è sicuramente medio alto,

---

<sup>14</sup> Questo limite produttivo dei fab lab, si basa sulle attuali organizzazioni e dotazioni tecnologiche attuali. Non è da escludersi che il ruolo di questo attore nello scenario edilizio possa implementare risorse e specializzare la propria offerta.

sia per ovviare alla difficoltà di competizione con le alte tirature produttive, con la possibilità di far leva sul lavoro "sartoriale" che la tecnologia possa realizzare per un contesto di riferimento. In sintesi questo modello di business si basa su un prodotto servizio con piccole tirature ovvero per realizzare pezzi speciali, con la possibilità di personalizzare il design dei pezzi ogni volta, con un pricing medio alto.

Stabilito il prodotto servizio, il modello di business delinea come articolarlo sul mercato ovvero come articolare l'offerta, fino a questo punto generica. Per far questo si può individuare una chiave di lettura del mercato dei componenti edilizi secondo tre aree principali:

-Nuove costruzioni

-Costruito

-Restauro

Sinteticamente queste tre aree riassumono la maggior parte se non tutti gli interventi edilizi, intesi nel senso più ampio possibile. Per l'area delle nuove costruzioni sembrerebbe legittimo dividere ulteriormente il segmento in due aree di interesse specifico per questo prodotto-servizio. Queste due aree sono il settore tradizionale ed il settore del lusso. Nel campo delle nuove costruzioni con impieghi standard dei laterizi stampati in 3d si può dedurre che la competizione sia diretta con grandi competitor tradizionali, le cui economie di scala possono praticamente impedire o paralizzare un'offerta di qualche sorta in questo campo. Per questo il plus valore da mettere in gioco in questo specifico segmento dovrebbe essere oltre alle valutazioni sul rapporto qualità-prezzo, la realizzazione di brevetti su pezzi speciali, il più possibile integrabili con moduli standard, secondo i principi della coordinazione modulare, seguiti per altro in questa tesi. L'offerta in questo segmento dovrebbe realizzare quindi un catalogo in grado di integrare i moduli esistenti, la dove la produzione standard non può arrivare per limiti produttivi. Il segmento del lusso invece dovrebbe riferirsi ad una fascia alta di clienti, realizzando pezzi dall'alto design e dall'alto valore estetico e decorativo. Il vantaggio principale che il cliente potrebbe trarre da questo tipo di processo dovrebbe essere la customizzazione totale. Il secondo macrosegmento di riferimento è il campo del restauro. Nel restauro il prodotto-servizio in oggetto potrebbe essere accolto molto favorevolmente. Il restauratore potrebbe cogliere aspetti di riproduzione 3d in argilla quindi terracotta, ceramica, etc. , abbinati ad un processo di rilievo 3d, per realizzare restauri integrativi. Nel restauro integrativo potrebbero essere ricostruite le parti mancanti tali da ricostruire l'integrità. Anche in altri tipologie di restauro potrebbe essere prevista una ricostruzione di parti mancanti, secondo un design riprogettato dal restauratore stesso. In questo senso scansione 3d unita alla stampa 3d per realizzare prodotti di terracotta, ceramica, etc. rappresenta un servizio più che un prodotto iper specializzato, tale da giustificare poche commesse con alti budget di riferimento, sempre secondo un posizionamento medio alto, superiore ai precedenti posizionamenti. L'ultimo segmento di riferimento è rappresentato dal costruito. Questo segmento può avvicinarsi sia ad aspetti delle nuove costruzioni, specialmente nei processi di ristrutturazione, che a processi di restauro. La vicinanza tra l'uno o l'altro segmento di riferimento dipenderà caso per caso. Ad ogni modo valutare un vero business model per questo micro segmento risulta complesso vista la varietà, specialmente italiana, in questo campo. Con molta probabilità ci potrà essere talvolta una tensione verso il restauro ed i suoi modelli di business, talvolta verso le nuove costruzioni ed i relativi modelli.



## Bibliografia:

- Arbace L; Sonnino E; Callieri M; Dellepiane M; Fabbri, M; Iaccarino A; Scopigno R, *Innovative uses of 3D digital technologies to assist the restoration of a fragmented terracotta statue*, in "Journal of Cultural Heritage", 2013, Vol.14(4), pp.332-345.
- Berman B, *3-D printing: The new industrial revolution*, in "Business Horizons", 2012, Vol.55(2), pp.155-162.
- Bonanni L; Parkes A; Ishii H; Czerwinski M; Lund A; Tan D, *Future craft: how digital media is transforming product design*, in *Human Factors in Computing Systems: CHI '08 Extended Abstracts*, (CHI EA '08), 2008, pp.2553-2564.
- Buxmann P; Hinz O, *Makers*, in "Business & Information Systems Engineering", 2013, Vol.5(5), pp.357-360.
- Derix C; Kimpian J; Karanouh A; Mason J; Peters T, *Feedback Architecture* in "Architectural Design", 2011, Vol.81(6), pp.36-43.
- Diez T, *Personal Fabrication: Fab Labs as Platforms for Citizen-Based Innovation, from Microcontrollers to Cities*, in *Nexus Network Journal*, 2012, Vol.14(3), pp.457-468.
- Enns J; Kallipoliti L, *Intelligent Wood Assemblies: Incorporating Found Geometry and Natural Material Complexity*, in "Architectural Design", 2010, Vol.80(6), pp.116-121.
- Fatuzzo G; Mussumeci G; Oliveri S M; Sequenzia G, *The "Guerriero di Castiglione": reconstructing missing elements with integrated non-destructive 3D modelling techniques*, in "Journal of Archaeological Science", 2011, Vol.38(12), pp.3533-3540.
- Gambrosier C; Meda M; Lucarelli F, *Industrializzazione edilizia: illusione e realtà : aspetti della cultura tecnologica in Italia, 1955-1983*, Milano, Clup, 1985.
- Gbureck U; Hölzel T; Klammert U; Würzler K; Müller F A; Barralet J E, *Resorbable Dicalcium Phosphate Bone Substitutes Prepared by 3D Powder Printing* in "Advanced Functional Materials", 2007, Vol.17(18), pp.3940-3945.
- Gershenfeld N, *Quando le cose iniziano a pensare*, Milano, ed Garzanti, 1999.
- Gershenfeld N, *The nature of mathematical modeling*, Cambridge, Cambridge University Press, 1999.
- Gershenfeld N, *The physics of information technology*, Cambridge, Cambridge University Press, 2000.
- Gershenfeld N, *Programming bits and atoms*, in *Proceedings of the 2007 ACM/IEEE Conference on Supercomputing*, Nov. 2007, pp.1-1.
- Grant M; Renuka P; Duane S; Mark G, *The guide to glass 3D printing: developments, methods, diagnostics and results* in "Rapid Prototyping Journal", 2011, Vol.17(3), p.187-194.
- Hack N; Lauer W V; Gramazio F ; Kohler M, *Mesh-Mould: Robotically Fabricated Spatial Meshes as Reinforced Concrete Formwork*, in "Architectural Design", 2014, Vol.84(3), pp.44-53.
- Holger S, *AM Envelope. The potential of Additive Manufacturing for facade constructions*, in "A+BE: Architecture and the Built Environment", 2013, Vol.3(1), p.1.

- Innovative design and construction technologies: building complex shapes [and] beyond*, Politecnico di Milano, 6th-7th May 2009, a cura di I Paoletti, Santarcangelo di Romagna, Maggioli, 2009.
- Ju Y; Xie H; Zheng, Z; Lu J; Mao L; Gao F; Peng R, *Visualization of the complex structure and stress field inside rock by means of 3D printing technology*, in "Chinese Science Bulletin", 2014, Vol.59(36), pp.5354-5365.
- Keating S; Oxman N, *Compound fabrication: A multi-functional robotic platform for digital design and fabrication*, in "Robotics and Computer Integrated Manufacturing", 2013, Vol.29(6), pp.439-448.
- Le T T; Austin S A; Lim S.; Buswell R A; Law R; Gibb, AGF; Thorpe, T, *Hardened properties of high-performance printing concrete* in "Cement and Concrete Research", 2012, Vol.42(3), pp.558-566.
- Markopoulou A; Rubio R, *Smart Living Architecture: Solar Prototypes. IAAC Endesa Pavilion Barcelona*, in "Architectural Design", 2015, Vol.85(2), pp.128-131.
- Naboni R; Paoletti I, *Advanced customization in architectural design and construction*, Cham, Springer, 2015.
- Ortona A; D'Angelo C; Gianella S; Gaia D, *Cellular ceramics produced by rapid prototyping and replication* in "Materials Letters", 2012, Vol.80, pp.95-98.
- Oxman, R, *New Structuralism: Design, Engineering and Architectural Technologies*, in "Architectural Design", 2010, Vol.80(4), pp.14-23.
- Oxman N; Oxman R; Oxman R, *Structuring Materiality: Design Fabrication of Heterogeneous Materials*, in "Architectural Design", 2010, Vol.80(4), pp.78-85.
- Oxman N; Duro-Royo J; Keating S; Peters B; Tsai, Elizabeth; Gramazio F; Kohler M, *Towards Robotic Swarm Printing*, in "Architectural Design", 2014, Vol.84(3), pp.108-115.
- Pastore, P, *Industrializzazione edilizia e produzione dei componenti*, Bari, Edipuglia, 1984
- Paoletti I, *L'innovazione consapevole : nuovi percorsi per la tecnologia dell'architettura*, Santarcangelo di Romagna, Maggioli, 2011.
- Paoletti, I; Tardini, P, *Mass innovation : emerging technologies in construction*, Santarcangelo di Romagna, Maggioli, 2011.
- Sass L; Oxman R, *Materializing design: the implications of rapid prototyping in digital design*, in "Design Studies", 2006, Vol.27(3), pp.325-355.
- Sheridan, D M, *Fabricating Consent: Three-Dimensional Objects as Rhetorical Compositions*, in "Computers and Composition", 2010, Vol.27(4), pp.249-265.
- Tibbits S; Menges A, *Design to Self-Assembly*, in "Architectural Design", 2012, Vol.82(2), pp.68-73.

-Wilhelm S; Curbach M, *Review of possible mineral materials and production techniques for a building material on the moon*, in *Structural Concrete*, 2014, Vol.15(3), pp.419-428.

