

POLITECNICO DI MILANO  
Facoltà di Architettura  
Corso di Laurea Magistrale in  
Progettazione Tecnologica e Ambientale



Tesi di laurea:

**PLOT & PLUG**

Progettazione di un kit per la lavorazione dei tessuti in contesti di emergenza e sperimentazione di una dôme adattiva.

Relatore: Prof.ssa Arch. Alessandra Zanelli  
Correlatore: Arch. Salvatore Viscuso

Laureanda: Monica Cerfeda  
Matricola: 781328  
A.A. 2014/2015



# INDICE

## Indice delle immagini

### Introduzione

#### 1. Emergenza e rifugio

*Breve analisi delle modalità di ricostruzione nelle situazioni di post-emergenza: dai rifugi di transizione alle architetture vernacolari*

- |                                |         |
|--------------------------------|---------|
| 1.1. Sheltering process        | pag. 2  |
| 1.2. Transitional Shelter      | pag. 5  |
| 1.3. Architetture tradizionali | pag. 11 |

#### 2. Materiali e Innovazione tecnologica

*Catalogazione di tecniche innovative di lavorazione dei materiali e dei processi di fabbricazione digitali con esempi di architetture che hanno sperimentato queste metodologie*

- |                                 |         |
|---------------------------------|---------|
| 2.1. Tecniche di fabbricazione  | pag. 19 |
| 2.1.1. Taglio                   | pag. 20 |
| 2.1.2. Addizione                | pag. 37 |
| 2.1.3. Sottrazione              | pag. 52 |
| 2.2. Strategie di progettazione | pag. 59 |
| 2.3. Architetture contemporanee | pag. 64 |
| 2.3.1. Casi studio:             |         |
| - architetture in legno         | pag. 66 |
| - architetture in terra/argilla | pag. 79 |
| - architetture in tessuto       | pag. 94 |

<b>3. Cnc da taglio/stampa 2d</b>	pag. 103
<i>Progetto di una macchina a controllo numerico da taglio per tessuti e di stampa 2D con kit di montaggio, implementabile e trasportabile nei luoghi di emergenza</i>	
3.1.Tecnologia e componenti	
3.1.1. Piano da lavoro	pag. 106
3.1.2. Meccanica	pag. 107
3.2.Kit di montaggio	
3.2.1. Istruzioni di montaggio	pag. 110
3.2.2. Stima dei costi	pag. 115
<b>4. Applicazione progetto</b>	
<i>Studio delle deformazioni di geometrie tridimensionali in stampa 2d su un tessuto pre-tensionato e progettazione di uno shelter di emergenza composto da elementi modulari pre-tensionati</i>	
4.1 Esperimenti geometrici	pag. 116
4.2 Progetto	pag. 123
<b>Conclusioni</b>	pag. 128
<b>Bibliografia</b>	pag. 131

# INDICE delle immagini

*(Fig. 1.1\_1) Il processo incrementale delle Transitional Shelters; Transitional shelter - guidelines, Shelter Centre, Geneva (CH), 2012*

*(Fig. 1.2\_1,2) Confronto degli investimenti; Transitional shelter - guidelines, Shelter Centre, Geneva (CH), 2012*

*(Fig. 1.2\_3) Esempio di transitional shelter in Indonesia; Shelter project 2013-2014, IFRC, UN-HABITAT and UNHCR, 2014*

*(Fig. 1.2\_4) Esempio di transitional shelter in Pakistan; Shelter project 2013-2014, IFRC, UN-HABITAT and UNHCR, 2014*

*(Fig. 1.2\_5) Esempio di transitional shelter in Haiti; Shelter project 2013-2014, IFRC, UN-HABITAT and UNHCR, 2014*

*(Fig. 1.2\_6) Esempio di transitional shelter nelle isole Fuji; Shelter project 2013-2014, IFRC, UN-HABITAT and UNHCR, 2014*

*(Fig. 1.3\_1) INDLU dei Zulu; JOHN MAY, Architettura senza architetti, Milano, Rizzoli, 2010.*

*(Fig. 1.3\_2) TONGKONAN dei Toraja; JOHN MAY, Architettura senza architetti, Milano, Rizzoli, 2010.*

*(Fig. 1.3\_3) TOLEK dei Mousgoum; JOHN MAY, Architettura senza architetti, Milano, Rizzoli, 2010.*

*(Fig. 1.3\_4) BEEHIVE - Siria; JOHN MAY, Architettura senza architetti, Milano, Rizzoli, 2010*

*(Fig. 1.3\_5) TEEPEE - Indiani delle pianure; JOHN MAY, Architettura senza architetti, Milano, Rizzoli, 2010.*

*(Fig. 1.3\_6) TENDE NERE - Regione dei beduini; JOHN MAY, Architettura senza architetti, Milano, Rizzoli, 2010.*

*(Fig. 1.3\_7) GER - Mongolia; JOHN MAY, Architettura senza architetti, Milano, Rizzoli, 2010.*

*(Fig. 2.1.1\_1) Taglio laser; [www.sfcreativelab.it/category/tecnologie-di-taglio/](http://www.sfcreativelab.it/category/tecnologie-di-taglio/)*

*(Fig. 2.1.1\_2) Water jet; [www.waterjet-cutting.blogspot.com](http://www.waterjet-cutting.blogspot.com)*

*(Fig. 2.1.1\_3) Taglio lama fissa; [www.lasertechin.com](http://www.lasertechin.com)*

*(Fig. 2.1.1\_4) Disegno schematico del funzionamento della testa del taglio laser; [www.tecmatied.wordpress.com/category/tecnologie-innovative/](http://www.tecmatied.wordpress.com/category/tecnologie-innovative/)*

(Fig. 2.1.1\_5) Laser cut CO2 del fabLab di Verona; [www.fablalitalia.it/wiki/Lasercut/Lasercut](http://www.fablalitalia.it/wiki/Lasercut/Lasercut)

(Fig. 2.1.1\_6) Testa taglio laser; [www.sfcreativelab.it/category/tecnologie-di-taglio/](http://www.sfcreativelab.it/category/tecnologie-di-taglio/)

(Fig. 2.1.1\_7) Testa water jet; [www.sfcreativelab.it/category/tecnologie-di-taglio/](http://www.sfcreativelab.it/category/tecnologie-di-taglio/)

(Fig. 2.1.1\_8) Schema di funzionamento water jet; [www.omaxitalia.com/omax-venezianogroup-waterjet/68-applicazioni-tipiche-3](http://www.omaxitalia.com/omax-venezianogroup-waterjet/68-applicazioni-tipiche-3)

(Fig. 2.1.1\_9) Water jet 5 assi; <http://www.belotti.com/>

(Fig. 2.1.1\_10) Progetto Litocorno; [www.antolini.com](http://www.antolini.com)

(Fig. 2.1.1\_11) Plotter di taglio; [www.fkgroup.com/italiano/tecnologia\\_per\\_tessuti\\_tecnici.html](http://www.fkgroup.com/italiano/tecnologia_per_tessuti_tecnici.html)

(Fig. 2.1.1\_12) Lama oscillante; <http://www.axyz.com/us/cnc-knife-systems/>

(Fig. 2.1.1\_13) Lama da trascinamento Donektools; [www.donektools.com](http://www.donektools.com)

(Fig. 2.1.1\_14) Lama rotante; <http://www.smre.it/web/heavy-duty/it/macchina-2.html>

(Fig. 2.1.1\_15) Sistema vaccum; <http://www.shopbotblog.com/2006/10/vacuum-table-ultra/>

(Fig. 2.1.1\_16) Cartone cordonato; <http://www.smre.it/web/it/tecnologia-creasing.html>

(Fig. 2.1.2\_1) Schema funzionamento FDM; [www.piùlab.it](http://www.piùlab.it)

(Fig. 2.1.2\_2) Schema funzionamento SLA; [www.piùlab.it](http://www.piùlab.it)

(Fig. 2.1.2\_3) Schema funzionamento SLS; [www.piùlab.it](http://www.piùlab.it)

(Fig. 2.1.2\_4) Stampante 3D "RepRap Prusa". Una delle prime stampanti open source; [www.reprap.org](http://www.reprap.org)

(Fig. 2.1.2\_5) Stampante 3D con struttura portante a scocca "Sharebot"; [www.sharebot.it](http://www.sharebot.it)

(Fig. 2.1.2\_6) Stampante 3D a telaio perimetrale "3Drag"; [www.3dprint.elettronica.in.it/tutto-su-3drag/](http://www.3dprint.elettronica.in.it/tutto-su-3drag/)

(Fig. 2.1.2\_7) Disegno schematico del funzionamento di un estrusore; <http://www.sharebot.it/index.php/how-to/come-funziona-la-stampante-3d-sharebot-pro/>

(Fig. 2.1.2\_8) Stampante "3Drag" con ventola di raffreddamento;

[www.3dprint.elettronicain.it/tutto-su-3drag](http://www.3dprint.elettronicain.it/tutto-su-3drag)  
(Fig. 2.1.2\_9) Schemi funzionali; [www.piùlab.it](http://www.piùlab.it)  
(Fig. 2.1.2\_10) Oggetto stampato in 3D; [www.piùlab.it](http://www.piùlab.it)  
(Fig. 2.1.2\_11) Disegni schematici sugli errori di progettazione; [www.piùlab.it](http://www.piùlab.it)  
(Fig. 2.1.2\_12) Oggetto realizzato in 3D con struttura di supporto;  
(Fig. 2.1.2\_13) Stampante "3Drag" con estrusore di cioccolato; [www.futurashop.it](http://www.futurashop.it)  
(Fig. 2.1.2\_14) Schema funzionamento SLA; <http://kataleo.com/blog/stereolitografia-3d/>  
(Fig. 2.1.2\_15) Oggetto realizzato con strutture di supporto; [www.oneoff.it/modellazione-a-deposizione-fusa/](http://www.oneoff.it/modellazione-a-deposizione-fusa/)  
(Fig. 2.1.2\_16) Stampante 3D con stereolitografia laser "Form1+"; creata da un team di ingegneri e designer dell'Università americana MIT; [www.formlabs.com/](http://www.formlabs.com/)  
(Fig. 2.1.2\_17) Schema funzionamento SLS; immagine prodotta dall'autore  
(Fig. 2.1.2\_18) Processo di sinterizzazione e prodotto sinterizzato; <http://www.cimindustry.com/article/canada/speed-to-market-one-layer-at-a-time>  
(Fig. 2.1.2\_19,20) Oggetti complessi realizzati con la tecnica SLS; <http://www.sharebot.it>  
(Fig. 2.1.2\_21) Oggetto stampato in zucchero, grafene e nylon con stampante "SnowWhite"; [www.sharebot.it](http://www.sharebot.it)  
(Fig. 2.1.2\_22) Stampante SLS "SnowWhite" della Sharebot; [www.sharebot.it](http://www.sharebot.it)

(Fig. 2.1.3\_1) Tornio; [www.pumpingstationone.org/2013/11/cnc-build-club-4-axis-milling/](http://www.pumpingstationone.org/2013/11/cnc-build-club-4-axis-milling/)  
(Fig. 2.1.3\_2) Fresa; [www.simit.it/fresatrici/](http://www.simit.it/fresatrici/)  
(Fig. 2.1.3\_3) Fresa CNC; <http://www.fablabstudio.com/fabrication-technologies/cnc-routing-and-milling/>  
(Fig. 2.1.3\_4) Utensile fresa CNC; immagine estrapolata da: [www.youtube.com/watch?v=e2DbUvkM5cE](http://www.youtube.com/watch?v=e2DbUvkM5cE)  
(Fig. 2.1.2\_5) Realizzazione oggetto con fresa CNC 5 assi; [www.heliosautomazioni.com/it/news/news-glomus](http://www.heliosautomazioni.com/it/news/news-glomus)  
(Fig. 2.1.2\_6) Disegno del percorso effettuato dall'utensile; [V](http://www.miocugi-</a></p></div><div data-bbox=)

no.com

(Fig. 2.1.2\_7) Limite dimensionale dell'utensile nella lavorazione; [www.miocugino.com](http://www.miocugino.com)

(Fig. 2.1.2\_8) Limite della raggittura degli spigoli interni; [www.miocugino.com](http://www.miocugino.com)

(Fig. 2.2\_1) Contouring; <http://faulders-studio.com/BAMSCAPE-BAM-PFA>

(Fig. 2.2\_2) Folding; Immagine riprodotta dall'autore

(Fig. 2.2\_3) Tessellation; <http://www.evolo.us/architecture/parametric-timber-pavilion/>

(Fig. 2.2\_4) Sectioning; <http://www.franken-architekten.de>

(Fig. 2.2\_5) Forming; <http://www.arch.mcgill.ca/prof/sijpkcs/Downloads/proposal.html> ;

(Fig. 2.3.1\_1) Wikihouse; [www.wikihouse.cc/](http://www.wikihouse.cc/)

(Fig. 2.3.1\_2) Fire Shelter, Shjworks; [www.shjworks.dk/](http://www.shjworks.dk/)

(Fig. 2. (Fig. 2.3.1\_5) Struttura Wikihouse; [www.wikihouse.cc/](http://www.wikihouse.cc/)

(Fig. 2.3.1\_6); Modello tridimensionale; [www.wikihouse.cc/](http://www.wikihouse.cc/)

(Fig. 2.3.1\_7) Realizzazione pezzi con lavorazione Fresa CNC; [www.wikihouse.cc/](http://www.wikihouse.cc/)

(Fig. 2.3.1\_8); Sistema costruttivo; [www.wikihouse.cc/](http://www.wikihouse.cc/)

(Fig. 2.3.1\_9) Dettaglio connettori; [www.wikihouse.cc/](http://www.wikihouse.cc/)

(Fig. 2.3.1\_10) Singolo modulo; [www.wikihouse.cc/](http://www.wikihouse.cc/)

(Fig. 2.3.1\_11) Pannello Woodskin; [www.wood-skin.com/](http://www.wood-skin.com/)

(Fig. 2.3.1\_12) Stratigrafia del materiale; [www.wood-skin.com/](http://www.wood-skin.com/)

3.1\_3) Dukta, Structural skin; [www.dukta.com/](http://www.dukta.com/)

(Fig. 2.3.1\_4) Wood\_Skin; [www.wood-skin.com/](http://www.wood-skin.com/)

(Fig. 2.3.1\_13) Composizione del materiale; [www.wood-skin.com/](http://www.wood-skin.com/)

(Fig. 2.3.1\_14) "Reign restaurant" a Dubai: Rivestimento interno verticale con regular pattern; [www.wood-skin.com/](http://www.wood-skin.com/)

Fig. 2.3.1\_15) "luter flagship store" a Milano: Realizzazione di arredi interni con smart pattern; [www.wood-skin.com/](http://www.wood-skin.com/)

(Fig. 2.3.1\_14,15) Spazi meeting realizzati con sistema wood-skin in betulla; [www.wood-skin.com/](http://www.wood-skin.com/)

(Fig. 2.3.1\_16) Sistema di aggancio con alette viti e bulloni; [www.wood-skin.com/](http://www.wood-skin.com/)

*skin.com/*

*(Fig. 2.3.1\_17) Sistema Wood-Skin come pannelli di isolamento acustic;  
www.wood-skin.com/*

*(Fig. 2.3.1\_18) DShape, Enrico Dini; www.dinitech.it*

*(Fig. 2.3.1\_19) Building Bytes, Brian Peters;*

*(Fig. 2.3.1\_20) Ddelta, Wasp Project;*

*Fig. 2.3.1\_21) Contour Crafting, Dr. Behrokh Khoshnevis of the University  
of Southern California;*

*(Fig. 2.3.1\_22) Struttura della stampante SLA; www.dinitech.it*

*(Fig. 2.3.1\_23) Testa di stampa a 300 ugelli; www.dinitech.it*

*(Fig. 2.3.1\_24) Processo di SLA; www.dinitech.it*

*(Fig. 2.3.1\_25) Progetto di Andrea Morgante "Radiolaria"; www.dinitech.it*

*(Fig. 2.3.1\_26) Progetto di Arch.Marco ferreri "UnaCasaTuttaDiUnPezzo";  
<http://www.archinfo.it/ferreri/>*

*(Fig. 2.3.1\_27) Realizzazione di un modulo di mattone; www.buildingbytes.  
info*

*(Fig. 2.3.1\_28) Moduli: Honeycomb Brick; www.buildingbytes.info*

*(Fig. 2.3.1\_29,30,31) Moduli:interlocking Brick; www.buildingbytes.info*

*(Fig. 2.3.1\_32,33) Moduli: Ribbed Brick; www.buildingbytes.info*

*(Fig. 2.3.1\_34,35) Moduli: X Brick; www.buildingbytes.info*

*(Fig. 2.3.1\_36) Nido della vespa vasaio; www.wasproject.it*

*(Fig. 2.3.1\_37,38) Prototipo di Dome realizzato in terra cruda; www.wa-  
sproject.it*

*(Fig. 2.3.1\_39,40) Stampante BigDelta realizzata nel 2015; www.wa-  
sproject.it*

*(Fig. 2.3.1\_41) Estrusore con ugello a clovea; www.wasproject.it*

*(Fig. 2.3.1\_42) Inserimento di graminacee nell'impasto; www.wasproject.it*

*(Fig. 2.3.1\_43) Stampante Delta 60-100 e Delta wasp Evo; www.wa-  
sproject.it*

*(Fig. 2.3.1\_44) Stampante 3D con struttura a ponte; www.contourcrafting.  
org*

(Fig. 2.3.1\_45,46) Testa d'estrusione con ugelli e sistema a spatola e realizzazione di una struttura in cemento; *Automation in Construction* 29 (2013) 50–67

(Fig. 2.3.1\_47) Casa del libro, Marcelo Dantas e Olga Sanina; [www.abarrigadeumarquitecto.blogspot.it/2008/11/olga-sanina-marcelo-dantas-pavilho-da.html](http://www.abarrigadeumarquitecto.blogspot.it/2008/11/olga-sanina-marcelo-dantas-pavilho-da.html)

(Fig. 2.3.1\_48) Cutty Sark Pavilion, Bakoko; [www.bakoko.jp](http://www.bakoko.jp)

(Fig. 2.3.1\_49) Self-Assembly, MIT; [www.selfassemblylab.net/ProgrammableMaterials.php](http://www.selfassemblylab.net/ProgrammableMaterials.php)

(Fig. 2.3.1\_50) Tensioned Relaxations, SDA; [www.synthesis-dna.com](http://www.synthesis-dna.com)

(Fig. 2.3.1\_51) Padiglione temporaneo “casa del libro”; [www.arcstreet.com/](http://www.arcstreet.com/)

(Fig. 2.3.1\_52,53) Layer in tessuto; [www.arcstreet.com](http://www.arcstreet.com)

(Fig. 2.3.1\_54) Pianta del padiglione; [www.arcstreet.com/](http://www.arcstreet.com/)

(Fig. 2.3.1\_54) Pianta del padiglione; [www.abarrigadeumarquitecto.blogspot.it/](http://www.abarrigadeumarquitecto.blogspot.it/)

(Fig. 2.3.1\_55) Struttura Padiglione “Cutty Shark”; <http://www.bakoko.jp>

(Fig. 2.3.1\_56) Struttura interna; <http://www.bakoko.jp>

(Fig. 2.3.1\_57) Sequenze del disegno parametrico; <http://www.bakoko.jp>

(Fig. 2.3.1\_59) Esploso del un modello tridimensionale; <http://www.bakoko.jp>

(Fig. 2.3.1\_60) Montaggio della copertura in tessuto; <http://www.bakoko.jp>

(Fig. 2.3.1\_61) Dettaglio della copertura in tessuto; <http://www.bakoko.jp>

(Fig. 2.3.1\_62) Prototipo in tessuto e stampa 3D; [www.selfassemblylab.net/ProgrammableMaterials](http://www.selfassemblylab.net/ProgrammableMaterials)

(Fig. 2.3.1\_63,64,65,66) Sequenze di realizzazione del prototipo; [www.selfassemblylab.net/ProgrammableMaterials](http://www.selfassemblylab.net/ProgrammableMaterials)

(Fig. 2.3.1\_67) Render di progetto; [www.synthesis-dna.com/](http://www.synthesis-dna.com/)

(Fig. 2.3.1\_68) Prototipi realizzati in tessuto di nylon e cavo in metallo; [www.synthesis-dna.com/](http://www.synthesis-dna.com/)

(Fig. 2.3.1\_69) Struttura realizzata per Volvo; [h www.synthesis-dna.com/](http://www.synthesis-dna.com/)

(Fig. 2.3.1\_70) Rivestimento in tessuto senza telaio; <http://www.dezeen.com/2013/11/14/volvo-pure-tension-pavilion-charges-an-electric-car-by-synthesis-design-architecture/>

(Fig. 2.3.1\_71) Telaio in alluminio sezionato in 24 pezzi; <http://www.dezeen.com/2013/11/14/volvo-pure-tension-pavilion-charges-an-electric-car-by-synthesis-design-architecture/>

(Fig. 2.3.1\_72) Padiglione montato; <http://www.dezeen.com/2013/11/14/>

*volvo-pure-tension-pavilion-charges-an-electric-car-by-synthesis-design-architecture/*

*(Fig. 3.1\_1) Tavolo da taglio e stampa 2D; immagine prodotta dall'autore*

*(Fig. 3.1\_2) Pannelli di mdf, [www.woodchiplumber.com](http://www.woodchiplumber.com)*

*(Fig. 3.1\_3) Assonometria del piano da lavoro in mdf*

*(Fig. 3.1\_4) Puleggia di alluminio dentata Gt3; [www.openbuildsitalia.com](http://www.openbuildsitalia.com)*

*(Fig. 3.1\_5) Cinghia dentata GT3; [www.openbuildsitalia.com](http://www.openbuildsitalia.com)*

*(Fig. 3.1\_6) Ruota libera per cinghie dentate Gt3; [www.openbuildsitalia.com](http://www.openbuildsitalia.com)*

*(Fig. 3.1\_7) Ancoraggio cinghia dentata al profilato in alluminio; [www.openbuildsitalia.com](http://www.openbuildsitalia.com)*

*(Fig. 3.1\_8) Motore passo passo Nema 23; [www.robot-italy.com](http://www.robot-italy.com)*

*(Fig. 3.1\_9) Supporto flottante per viti trapezoidali; [www.openbuildsitalia.com](http://www.openbuildsitalia.com)*

*(Fig. 3.1\_10) Viti trapezoidali, diametro 8 mm; [www.openbuildsitalia.com](http://www.openbuildsitalia.com)*

*(Fig. 3.1\_11) Connessione vite trapezoidale con supporto flottante; [www.openbuildsitalia.com](http://www.openbuildsitalia.com)*

*(Fig. 3.1\_12) Motore passo passo Nema 17; [www.robot-italy.com](http://www.robot-italy.com)*

*(Fig. 3.1\_13) accoppiamento flessibile di alluminio; [www.openbuildsitalia.com](http://www.openbuildsitalia.com)*

*(Fig. 3.2.1\_1) Fase di montaggio 1; immagine prodotta dall'autore*

*(Fig. 3.2.1\_2) Fase di montaggio 2; immagine prodotta dall'autore*

*(Fig. 3.2.1\_3) Fase di montaggio 3; immagine prodotta dall'autore*

*(Fig. 4.1\_1,2,3,4) immagine prodotta dall'autore*

*(Fig. 4.2\_1) Sperimentazioni geometriche; immagine prodotta dall'autore*

*(Fig. 4.2\_2) Schemi di montaggio; immagine prodotta dall'autore*

*(Fig. 4.2\_3) Dettaglio costruttivo; immagine prodotta dall'autore*

*(Fig. 4.2\_4) Pianta e prospetto; immagine prodotta dall'autore*

*(Fig. 4.2\_5) Modello tridimensionale; immagine prodotta dall'autore*

## **INDICE DELLE TAVOLE**

1) Dalle architetture tradizionali alle architetture contemporanee

2) Dalle architetture tradizionali alle architetture contemporanee

3) Kit CNC da taglio/stampa2D

4) Istruzioni di montaggio

5) Sperimentazioni geometriche

6) Textile & pla dome



# INTRODUZIONE

La presente ricerca si propone di sviluppare e rintracciare una possibile soluzione alla questione dell'alloggio in stato di emergenza, situazione in cui una popolazione può ritrovarsi a seguito di catastrofi ambientali o conflitti umani. La ricerca si sviluppa partendo dal concetto di *transitional shelter*, inteso come processo incrementale attraverso il quale dal rifugio di prima emergenza si giunge alla ricostruzione definitiva dell'alloggio, nel rispetto del contesto e delle risorse locali disponibili.

La difficoltà attuale in cui si trovano le diverse organizzazioni mondiali che si interessano di fronteggiare queste situazioni è infatti quella di elaborare una soluzione di modulo abitativo che sia universale; questa soluzione deve associare all'efficacia della prima fase di emergenza -caratterizzata da soluzioni rapide ed immediate quali la tenda- la capacità di trasformarsi ed adeguarsi alle tradizioni culturali e tecnologiche del contesto specifico, puntando ad una ricostruzione definitiva che eviti sprechi economici e di materiale.

Si è reso quindi necessario tornare all'osservazione delle strutture vernacolari, fonte di ispirazione dal momento che -per loro stessa natura- sono costruite da ogni comunità con differenti tecniche tradizionali legate non solo alle risorse disponibili e al loro contesto ambientale, ma anche alle credenze e alle abitudini del gruppo costituente; gli studi condotti sulle architetture vernacolari hanno infatti fortemente contribuito ad accostare alla tradizione le recenti innovazioni tecnologiche, le quali trovano nella fabbricazione digitale una possibile nuova ed esaustiva risposta.

La fabbricazione digitale è un processo di rapida prototipazione che traduce le informazioni digitali in oggetti fisici; questo processo è in grado di sfruttare diverse tecniche di fabbricazione, sia additive -come la stampa 3D-, sia sottrattive -come il taglio e la fresatura-.

In generale, le macchine utilizzate per la fabbricazione digitale si caratterizzano per la facilità di utilizzo e per i costi relativamente contenuti.

Sono state dunque prese in considerazione le diverse strategie tramite le quali è possibile elaborare un progetto, in relazione alle suddette tecnologie digitali e contemporaneamente ai materiali da costruzione facilmente reperibili sul luogo dell'emergenza (legno, tessuti o pellami, pietra, terra); incrociando tutte le informazioni raccolte si è giunti alla conclusione che in situazioni d'emergenza i tempi stretti non consentono ancora la fabbricazione integrale del modulo abitativo direttamente in loco –sebbene alcune ricerche si stiano muovendo in tale direzione-, ma ciò che sarebbe possibile fare è intervenire sul materiale distribuito dalle associazioni umanitarie, ossia principalmente il tessile.

Grazie alle tipiche caratteristiche di leggerezza e versatilità il tessile ha infatti in sé la possibilità di essere riconfigurato in nuove forme -sempre diverse in base all'esigenza e alle tradizioni abitative locali- e lavorato attraverso la strategia del tessellation: questa strategia porta alla creazione di singoli componenti che, una volta montati insieme, formano una superficie continua.

Per permettere la riuscita di questo progetto si è pensato di ideare e realizzare una macchina a controllo numerico con testa da taglio e estrusore 2D che, insieme ad un kit di montaggio, possa essere riproposta tutte le volte in cui sia richiesta una tempestiva ricostruzione di alloggi, spalancando quindi la possibilità di generare profitti per la comunità e contribuendo così alla valorizzazione dell'economia locale.





# 1. EMERGENZA E RIFUGIO

Ogni anno milioni di persone perdono le loro case e i loro averi a causa di catastrofi naturali o conflitti politici: nel 2014 quasi 20 milioni di persone, ossia circa 62 mila individui al giorno, sono state costrette a fuggire dalle proprie case a seguito di inondazioni, tempeste e terremoti [UNCHR, 2014].

Negli ultimi decenni è diventato sempre più evidente come sia in atto una crescente distruzione degli ecosistemi nonché una profonda alterazione dei cicli biologici del pianeta, causati dalla esponenziale crescita della popolazione umana mondiale e dall'innalzamento dei consumi da parte dell'uomo al fine di sostenere nuovi stili di vita; il crescente consumo di risorse naturali proviene non solo dai paesi industrializzati, ma anche dai paesi in via di sviluppo quali Cina ed India, che mirano a riallinearsi al livello industriale ed economico dei paesi di punta, senza tuttavia alcuna regolamentazione in termini ambientali. (M. Lavagna, 2008)

Inoltre, è necessario sottolineare che con il termine "emergenza" non ci si riferisce unicamente alla situazione conseguente ai grandi disastri naturali: sono 60 milioni i profughi e gli sfollati nel mondo a causa di guerre e persecuzioni, numero che mai è stato così alto. Una tragedia senza pari, insomma, che soltanto nel 2014 ha spinto alla fuga 14 milioni di persone, in grande maggioranza siriani; i rapporti dell'Onu ricordano come moltissimi di questi profughi rimangano in realtà vicini -per quanto possibile- al luogo di origine, mentre solo una piccola percentuale di essi raggiunge l'Occidente attraverso viaggi ad alto tasso di pericolosità.

In ultima analisi, i dati indicano che il numero dei profughi continuerà ad aumentare nel prossimo decennio: basti ad esempio ricordare che la vita media di un campo profughi è vicino ai 17 anni, e in alcuni paesi -dove la situazione è particolarmente complicata come in Palestina- si va ben oltre questa cifra.

## 1.1 Sheltering process

L'Alto Commissariato delle Nazioni Unite per i Rifugiati (UNHCR) e la Croce Rossa (IFRC) rappresentano le associazioni di maggior rilievo in caso di situazioni di emergenza; possedendo scorte di approvvigionamento in posizioni tattiche in tutto il mondo, entrambe hanno la capacità di fornire assistenza immediata in caso di necessità. Disponendo di scorte per aiuti non alimentari nei magazzini di Copenhagen e Dubai, ad esempio, l'UNHCR ha la capacità di integrare le forniture locali nelle aree in cui ve ne sia bisogno e mobilitare in ogni angolo del pianeta più di 300 operatori qualificati, in grado di soccorrere 600.000 persone entro 72 ore dallo scoppio di un'emergenza (UNHCR 2015).

Nei luoghi dove è prevista assistenza si cerca di fornire in un primo momento un alloggio collettivo e temporaneo in edifici pubblici, tentando nel frattempo di avviare la riparazione o la ricostruzione delle case danneggiate. Durante l'assistenza, la scelta del riparo viene concordata con ogni famiglia in base alle loro esigenze: alcune famiglie potrebbero infatti preferire trovare momentaneamente rifugio da amici o parenti che non sono stati colpiti dalla disgrazia, e avere come sostegno del denaro contante, provviste o altri tipo di assistenza materiale.

Tuttavia per alcune case l'unica alternativa è la ricostruzione totale; ciò richiede tempo e sostegno economico, rendendo necessaria una soluzione alternativa di transizione. Analogamente, un disastro può essere di una grandezza tale da richiedere un numero di shelter su grande scala, richiesta che non può essere soddisfatta attraverso la ricostruzione edilizia standard, sviluppata in genere progressivamente nel tempo.

In queste situazioni si ha allora necessità di fornire una soluzione individuale di rifugio domestico pre-ingegnerizzato che fornisca una integrità strutturale e una resistenza al disastro, che utilizzi dei materiali e delle tecnologie che possano essere usate sia nella fase di *transitional shelter* sia ai fini di una abitazione più durevole (IFRC 2011).

Le unità progettate dalle organizzazioni umanitarie rispettano ovunque dei requisiti minimi: sono prodotte velocemente e a basso costo, sono facili da montare e trasportare e sono durevoli; il comfort e la configurazione dell'alloggio sono le ultime qualità che vengono prese in considerazione (per questo motivo molti esempi di shelter non riescono a offrire quelle caratteristiche essenziali che ci si aspetterebbe in un ambiente domestico).

Spesso le catastrofi naturali e di origine civile, oltre a recare un danno fisico legato alla distruzione dei beni materiali, provocano anche un danno emotivo legato alla perdita del comfort, della sicurezza e del controllo sul proprio ambiente; per questo è molto importante riconoscere la necessità di offrire attraverso l'unità abitativa non solo un riparo pratico ma anche un ambiente che possa essere effettivamente riconosciuto come casa, e che sia dunque espressione di identità, di usi e di costumi del proprio luogo nativo.

Una tipologia di risposta all'emergenza è l'approccio a più fasi, che divide l'intervento in 3 momenti:

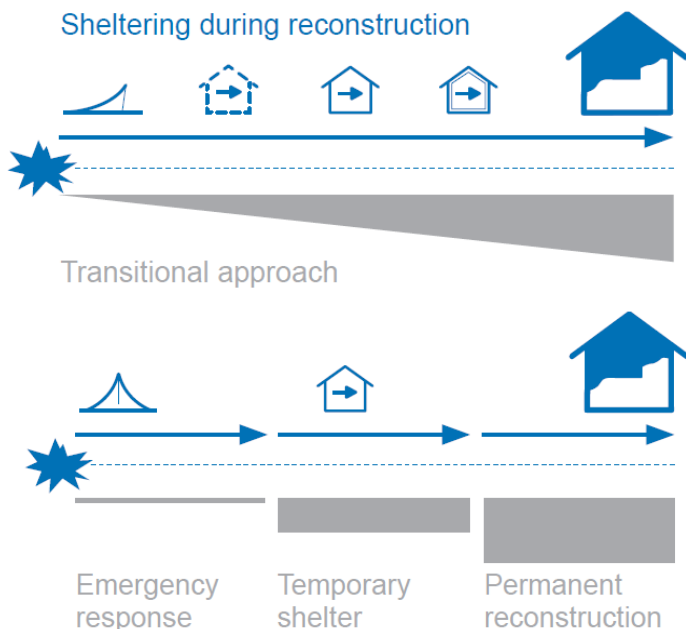
1. Risposta alla prima emergenza
2. Costruzione di rifugi temporanei.
3. Ricostruzione permanente

La risposta più diffusa dei governi e della comunità di aiuti umanitari internazionali è quella della distribuzione di tende o kit di strumenti e materiali per un rifugio di base, come teli di plastica o martelli; questa risposta permette molti vantaggi tra cui la velocità, e per alcuni *kit* la flessibilità nell'utilizzo sia per la riparazione che per la ricostruzione; tuttavia essa non è destinata ad offrire riparo a lungo termine, poiché la durata delle tende varia da pochi mesi a due anni (il materiale plastico utilizzato, pur di buona qualità, è in grado di durare circa 18 mesi).

Spesso passano molti anni dalla prima fase a quella finale di ricostruzione: per questo è solitamente necessario investire nuovamente una grande quantità di denaro per l'aggiornamento delle unità abitative di

prima emergenza fornite dalle organizzazioni umanitarie, e talvolta questo costo è maggiore del costo di costruzione di una casa permanente. In alcuni casi, tuttavia, distribuire rifugi di prima emergenza è uno step necessario per rispondere alla urgente necessità di alloggi a seguito di un disastro.

Per coniugare le soluzioni e trovare una via di mezzo sono stati progettati rifugi di prima emergenza con le qualità dei rifugi temporanei; questi hanno permesso la riduzione dei costi e l'aumento del benessere, ed hanno così facilitato il processo di trasformazione verso la soluzione abitativa permanente.



(Fig. 1.1\_1) Il processo incrementale delle Transitional Shelters.

## 1.2. Transitional shelter

Il testo di *Transitional Shelters Eight Designs* (International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies) da una definizione di *Transitional Shelter* che racchiude in poche righe il suo significato:

*“Rapid, post disaster household shelters made from materials that can be upgraded or re-used in more permanent structures, or that can be relocated from temporary sites to permanent locations. They are designed to facilitate the transition by affected populations to more durable shelter. Transitional shelters respond to the fact that post disaster shelter is often undertaken by the affected population themselves, and that this resourcefulness and self-management should be supported.”*

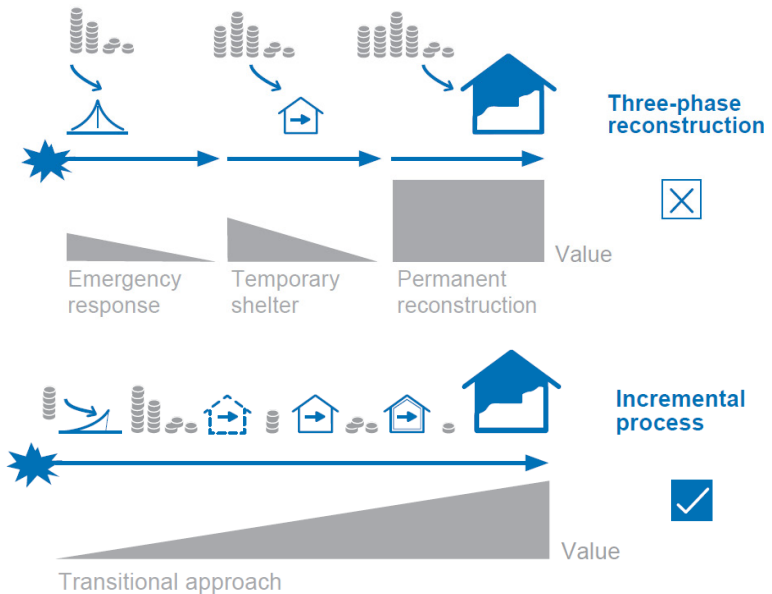
Il *transitional shelter* è un processo incrementale che permette di dare rifugio alle famiglie dopo un conflitto o un disastro ambientale: esso non è soltanto una risposta alla prima fase di emergenza -come lo era la distribuzione di teli di plastica, ad esempio- ma è il primo approccio per una ricostruzione permanente.

Il lavoro può avvenire sia grazie agli aiuti monetari e concreti delle organizzazioni umanitarie sia grazie alla stretta collaborazione con la popolazione locale, che contribuisce alla continua evoluzione del *transitional shelter*. Ad ogni contesto diverso corrisponderà un’unità abitativa diversa, che rifletterà la cultura e le tecnologie costruttive locali nonché si farà carico dei bisogni personali di ogni persona che la abita.

Una delle caratteristiche chiave dei *transitional shelter* è che possono essere aggiornati o/e ricollocati in altri luoghi; anche i materiali utilizzati possono essere reimpiegati. Potendo prendere parte attivamente al progetto di ricostruzione, le famiglie sono in grado di apportare in seguito autonomamente dei miglioramenti, decidendo o di continuare ad utilizzare il *transitional shelter* o di riciclare i materiali scelti sono principalmente quelli di produzione locale, in modo da incrementare e valorizzare l’economia locale e regionale. La maggior parte dei progetti di rifugi comple-

tamente importati o prefabbricati non rispondono infatti con efficienza ai bisogni dell'emergenza: l'importazione comporta una tempistica maggiore, e la loro costruzione spesso necessita di manodopera specializzata che a conti fatti arriva ad essere paragonata a quella della ricostruzione.

Come riparo di emergenza le tende possono essere utilizzate quando non ci sono sufficienti risorse locali e quando le scorte possono essere trasportate via aereo; anche in questo caso si stanno sviluppando nuove



(Fig. 1.2\_1,2)  
Confronto degli  
investimenti

idee per evitare sprechi di tempo e denaro, utilizzando ad esempio un telaio prefabbricato che può essere implementato con materiali locali.

Il *transitional shelter* dovrebbe avere 5 caratteristiche di base:

1. Essere implementabile - Seppur impiegato nella fase transitoria del contesto di emergenza, il *transitional shelter* potrebbe nel tempo essere migliorato e incluso nella soluzione di abitazione permanente; ciò sareb-

be possibile sostituendo i materiali adottati con altri più durevoli, o ampliando il progetto di base.

2. Essere riutilizzabile - Il *transitional shelter* svolge la propria funzione di abitazione di transizione mentre le operazioni di ricostruzione vengono svolte; una volta completate, potrebbe essere riutilizzato per funzioni alternative quali cucina esterna, fienile o negozio.

3. Essere ricollocabile - Questa caratteristica distingue il transitional shelter dagli altri approcci di rifugio: un rifugio ricollocabile può essere costruito su un territorio temporaneamente non adatto ad accogliere le famiglie, ma allo stesso tempo riposizionato in parte o totalmente in un'altra posizione definitiva

4. Essere rivendibile - Il transitional shelter, una volta completata la ricostruzione, potrebbe essere smontato nelle sue parti e diventare una risorsa da rivendere; per questo motivo i materiali, sia della struttura principale che quelli utili al fissaggio, devono essere selezionati in modo che siano adatti per lo smontaggio e la rivendita.

5. Essere riciclabile - Per le stesse ragioni citate sopra esso dovrebbe poter essere gradualmente smantellato nelle sue componenti durante il processo di ricostruzione ed essere utilizzato per la costruzione di una soluzione duratura.

Il processo, per essere ottimale, deve essere considerato come parte integrante di un continuo sviluppo e manutenzione e di una coordinata, integrata ed inter-settoriale strategia che riguardi sia il rifugio, sia l'inse-diamento e sia la ricostruzione.

L'approccio al transitional shelter nasce dal compromesso tra diverse variabili che diventano chiave sia nella fase progettuale che in quella operativa:

1. La velocità di costruzione – la struttura del transitional shelter deve essere progettata tenendo in considerazione non solo la facilità di costruzione e quindi la rapidità di assemblaggio, ma anche gli aspetti logistici di stoccaggio ed approvvigionamento dei materiali ( in loco o materiali importati). Inoltre un aspetto importante è la creazione di disegni tecnici, depliant con illustrazioni di montaggio che possano essere di chiara interpretazione anche per le persone non specializzate.
2. La durata – I transitional shelter devono essere abbastanza resistenti da poter essere riutilizzabili o implementabili fino a costituire un alloggio permanente. In questo caso è molto importante definire a priori la durata dell'alloggio in base anche al materiale utilizzato e alle risorse disponibili.
3. Dimensione e forma – La conformazione del transitional shelter, seppur deve rispettare un standard minimo di 18mq per famiglia, deve essere progettato valutando da caso a caso quale sia la scelta più opportuna.
4. Privacy e rispetto della cultura locale – Il transitional shelter deve essere progettato tenendo in considerazione la cultura locale, dall'orientamento dell'alloggio alla libertà di suddivisione interna dovuta alle abitudini di ogni famiglia.
5. Comfort termico – Il transitional shelter deve assicurare un riparo confortevole in qualsiasi stagione, adottando degli accorgimenti progettuali come verande o soffitti alti per i luoghi dove il caldo è persistente.
6. Ambiente – Un altro punto importante è l'approvvigionamento di materiale. Adottare dei materiali locali per esempio potrebbe da una parte essere un incentivo per l'economia locale, dall'altra la richiesta di una grande quantità di materiale potrebbe danneggiare l'ambiente; o utilizzare dei materiali importati come l'acciaio potrebbe snaturare la tradizione costruttiva locale.
7. Costo – Il costo di un transitional shelter deve essere proporzionale

al budget proposto per l'operazione d'emergenza, la quantità di persone colpite e la qualità dell'alloggio.

grande quantità di materiale potrebbe danneggiare l'ambiente; o utilizzare dei materiali importati come l'acciaio potrebbe snaturare la tradizione costruttiva locale.

7. Costo – Il costo di un transitional shelter deve essere proporzionale al budget proposto per l'operazione d'emergenza, la quantità di persone colpite e la qualità dell'alloggio.



(Fig. 1.2\_3)

*Esempio di transitional shelter in Indonesia a seguito del terremoto del 2011:*

*MATERIALE: Struttura portante in Bamboo, pareti opache in stuoie di bamboo intrecciato, copertura con tegole di terracotta*

*RISORSE: Locali*



(Fig. 1.2\_4)

*Esempio di transitional shelter in Pakistan a seguito dell'inondazione del 2010:*

*MATERIALI: Struttura portante in legno, copertura in lamiera di acciaio corrugato, taurpaulin*

*RISORSE: Legno: locale, Acciaio corrugato e Taurpaulin: aiuti internazionali*

## EMERGENZA E RIFUGIO

### 1.2. Transitional shelter

(Fig. 1.2\_5)

*Esempio di transitional shelter in Haiti a seguito del terremoto del 2010:*

*MATERIALE: Struttura portante in Acciaio zincato, pareti opache in tarpaulin, copertura in lamiera di acciaio corrugato*

*RISORSE: Struttura portante in acciaio: importato dalla Spagna, altri materiali: locali.*



(Fig. 1.2\_6)

*Esempio di transitional shelter nelle isole Fiji a seguito del ciclone tropicale del dicembre 2012:*

*MATERIALI: Struttura portante in legno, pareti opache in tarpaulin, copertura in lamiera di acciaio corrugato*

*RISORSE: Legno e tarpaulin: importazione, lamiera di acciaio: locale*



## 1.3. Architetture tradizionali

Rispetto all'approccio tradizionale di riparo d'emergenza, dove la soluzione finale viene distribuita tutto in uno, quello di transizione inizia dall'habitat minimo.

I principali dubbi sull'approccio di transizione derivano dal fatto che la soluzione deve contare su un'industria locale per trovare materiali giusti e dei componenti da applicare in fasi successive. Infatti negli esempi proposti non tutti i materiali utilizzati per la costruzione del *transitional shelter* sono una risorsa locale, la maggior parte sono importati da altri paesi o comunque provenienti da aiuti internazionali.

Il riparo costruito in indonesia probabilmente sembrerebbe quello più vicino all'idea di un *transitional shelter*, per i materiali locali utilizzati e per l'abitazione che rispecchia le tecniche e la tradizione locale. Il tetto in tegole di terracotta però, risulta essere una scelta che salta il processo incrementale del processo di transizione e si trova ad essere, per il suo peso proprio, inadeguato e pericoloso rispetto alla struttura portante in bamboo. Inoltre un altro punto a sfavore è spesso la difficoltà di realizzare in poco tempo e con i materiali disponibili delle abitazioni che siano vicine per forma e per utilizzo dei materiali a quelle tradizionali, con una conseguente snaturalizzazione del luogo.

Per questo l'architettura spontanea è presa sempre di più come riferimento fondamentale per la costruzione del processo di *transitional shelter*: questo è legato al concetto di casa, il che implica la creazione di un forte rapporto emotivo tra gli abitanti e lo spazio fisico dell'unità abitativa [Saegert, 1985], perché è intimamente legato ai concetti di identità e memoria tanto quanto il territorio e il luogo in cui si vive.

L'architettura vernacolare, come sostiene Bernard Rudofsky nel suo celebre testo "Architettura senza architetti", è quell'architettura "senza architetti" -o architettura spontanea- che è il frutto dell'adattamento degli abitanti alle caratteristiche del luogo: una perfetta sintesi, insomma,

tra clima, forma e materia.

Tuttavia, costruire nei paesi in via di sviluppo richiede una conoscenza adeguata ed un bilanciamento tra quelle che sono le conoscenze architettoniche locali, le esigenze di comfort dell'abitare, l'utilizzo delle risorse locali e la ridotta disponibilità economica; si parla di forme architettoniche spesso semplici, ma che racchiudono in sé l'essenza di un'architettura perfettamente inserita nel contesto e ancora operante, basata sull'utilizzo di poche risorse che sanno però utilizzare al meglio le conoscenze dirette del sito e le varie strategie architettoniche che sono state elaborate nei secoli.

Questa parte di indagine vuole analizzare e illustrare brevemente alcuni esempi di queste architetture, che serviranno per impostare il successivo lavoro di ricerca legato ai processi di fabbricazione digitale e ai materiali utilizzati, con l'obiettivo di creare una nuova opportunità di fabbricazione di un *T-shelter* che possa essere economico e veloce, e che possa rispecchiare le tradizioni locali.

L'architettura spontanea, per sua stessa natura, impiega materiali facilmente reperibili sul luogo nativo, ed è quindi definita dalle caratteristiche geologiche, ecologiche e climatiche della regione; le architetture spontanee sono costruite dalla comunità con utensili tradizionali, hanno un'elevata efficienza e si fondono armonicamente con il panorama.

Per questo gli esempi saranno suddivisi in tre macro-gruppi legati al materiale principale, utilizzato per la costruzione non solo dell'intera struttura ma anche di parti fondamentali di essa quali la copertura:

-Terra -Tessuto -Legno

INDLU dei Zulu - KwaZulu-Natal (Sud Africa)

Materiali: pali di legno, travi ricurve, erba per la copertura

La struttura dell'Indlu è un anello di giovani alberi che si incrociano ad angolo retto e sono legati assieme a ogni intersezione. Il tetto è sostenuto da una serie di pali verticali, fino a nove in una capanna grande, che reggono le travi ricurve.

Stuoie d'erba vengono legate alla struttura con cappi di erba intrecciata, e l'intera copertura è poi fissata con una rete di funi d'erba, dall'apice fino a terra e in cerchi concentrici paralleli al terreno.



(Fig. 1.3\_1)

TONGKONAN dei Toraja - Sulawesi (Australia)

Materiale: Assi di legno per la struttura, pali di bambù per il sottotetto, paglia e tegole in legno per il tetto a sella.

Il Tongkonan è costruita con assi di legno assemblate senza chiodi con incastro a linguetta o scanalatura e si regge su una palificazione di tronchi d'albero. La struttura è sormontata da un tetto a sella coperto di paglia o, in epoca moderna con lamiera ondulata.

Il tetto è sostenuto da un sottotetto in pali di bambù legati ai travetti, su cui si stendono più strati sovrapposti di assicelle in bambù legate con funi di rattan.



(Fig. 1.3\_2)

**LEGNO**

**TERRA e  
ARGILLA**



(Fig. 1.3\_3)

TOLEK dei Mousgoum - Ciad/Camerun (Africa)

Materiale: Sfere d'argilla mista a paglia, disposte su strati.

Il Tolek è costruito su un cumulo di terra spianata senza fondazioni e struttura di sostegno, questo perchè il legname è una risorsa scarsa .

La struttura è basata su una progressione di muri circolari, dal diametro di 5-7 metri, composti da sfere di argilla mista a paglia e lisciate a mano, leggeremnte inclinate all'interno e progressivamente più strette verso la cima, a formare una parabola. L'esterno è dissiminato di protuberanze che incrementano la stabilità strutturale e fungono da punti di appoggio per arrampicarsi e costruire la struttura senza l'uso di impalcature.

BEEHIVE - Sirya (Asia)

Materiali: terra, argilla e paglia.

I beehive sono composte da mattoni in fango misto a paglia di elevato spessore con il pavimento leggermente sollevato dalla quota del terreno. La struttura conica si estende più in altezza che in larghezza e l'assenza di aperture verso l'esterno riduce l'abbagliamento del sole e costringe l'aria calda a fuoriuscire dal foro posto in cima, che permette di mantenere all'interno una temperatura di 24° rispetto alla media esterna che va dai 35° ai 0°. Dalla struttura sporgono anche rami che minimizzano le incrinature e forniscono un'impalcatura già pronta per le riparazioni annuali.



(Fig. 1.3\_4)

TEEPEE - Indiani delle pianure (Nord-America)

Materiale: Paletti di legno per la struttura; Pelli di bisonte e/o tele fissate con aghi di legno.

Il Teepee è solitamente composto da soli quattro elementi: un fascio di tronchi di giovani alberi che formano la struttura di base, una copertura semi-circolare fatta di pelli o tela, un rivestimento interno e una falda usata come porta. Queste parti sono assicurate l'un con l'altra con corda e picchetti, aghi e paletti di legno.

L'apertura in cima, le falde e il rivestimento interno regolabili permettono di accendere un fuoco aperto all'interno per cucinare e riscaldare la tenda senza riempirla di fumo. L'aria che passa sotto la copertura della tenda viene sospinta verso l'alto portando con sé il fumo.



(Fig. 1.3\_5)

TENDE NERE - Regione dei beduini (Nord-Africa)

Materiale: pali di legno, fissati con funi di canapa e picchetti di legno; Tela tessuta con pelo di capra nera

La struttura della tenda è un intreccio variabile di pali, fissati con picchetti e funi, coperto di pelo di capra nera. La copertura principale consiste di un certo numero di



(Fig. 1.3\_6)

larghe strisce di tessuto cucite insieme a formare un grande rettangolo, lungo 30-40 metri, che poi viene drappeggiato sopra funi e sostenuto da pali. Le funi trasferiscono il peso ai picchetti, che tengono in tensione la struttura e la ancorano. Una striscia lunga e stretta di tessuto è fissata a tre lati della tenda con aghi di legno e pende verso terra.

**TESSILE**



*(Fig. 1.3\_7)*

GER - Mongolia (Asia)

Materiale: feltro, realizzato con lana di pecora; pali e tralicci in legno; funi e crine di cavallo o cammello

La struttura della Ger è formata da graticci a fisarmonica, di solito realizzati con salice flessibile, espansi e legati assieme a formare la struttura circolare; l'anello di compressione del tetto e la corona - chiamato anche shangrak - sono eretti al centro in modo da poter accogliere in posizione i pali di legno ricurvi. Il tetto e la copertura sono composti da stuoie di feltro legate assieme da funi di crine animale o con lacci di pelle, impermeabilizzato con grasso animale o lanolina.

## Bibliografia e sitografia

CLARA MASOTTI, *Manuale di Architettura di emergenza e temporanea: soluzioni per l'edilizia temporanea, nomade ed estrema*, Napoli, Sistemi Editoriali, 2010.

CORRADO TROMBETTA, *L'attualità del pensiero di Hassan Fathy nella cultura tecnologica contemporanea: il luogo, l'ambiente e la qualità dell'architettura*, Catanzaro, Rubbettino, 2002.

M. BERTOLDINI ... [ET AL.] ; A CURA DI ANDREA CAMPIOLI, *Progettare oltre l'emergenza : spazi e tecniche per l'abitare temporaneo*, Milano, il sole 24 ore, 2009.

MONICA LAVAGNA, *Life Cycle Assessment in edilizia*, Milano, Hoepli, 2008

JOHN MAY, *Architettura senza architetti: guida alle costruzioni spontanee di tutto il mondo*, Milano, Rizzoli, 2010.

*Transitional shelters - Eight designs*, International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies, Geneva (CH), 2012

*Transitional shelter - guidelines*, Shelter Centre, Geneva (CH), 2012

*Shelter project 2013-2014*, IFRC, UN-HABITAT and UNHCR, 2014

[www.disaster-report.com](http://www.disaster-report.com)

[www.emdat.be](http://www.emdat.be)

[www.earthcharterinaction.org](http://www.earthcharterinaction.org)

[www.ifrc.org](http://www.ifrc.org)

[www.internal-displacement.org/global-estimates/](http://www.internal-displacement.org/global-estimates/)

[www.nrc.no](http://www.nrc.no)

[www.rinnovabili.it/ambiente/](http://www.rinnovabili.it/ambiente/)

[www.sheltercasestudies.org](http://www.sheltercasestudies.org)

[www.shelter-systems.com](http://www.shelter-systems.com)

[www.sheltercentre.org](http://www.sheltercentre.org)

[www.unfpa.org](http://www.unfpa.org)

[www.unhcr.it](http://www.unhcr.it)



## 2. MATERIALI E INNOVAZIONE TECNOLOGICA

### 2.1. Tecniche di fabbricazione

L'architettura è caratterizzata da due attività principali: progettare e costruire. E' inconcepibile oggi immaginare di progettare senza l'uso del computer, esso è usato in ogni step del processo architettonico.

La fabbricazione digitale è spesso uno degli step finali di questo processo, consente di integrare tecniche e sviluppi analogici a quelli digitali per creare oggetti fisici, sia di modelli in scala, sia di prototipi a dimensione reale o di singole componenti che verranno poi ricomposti in un'unica forma. Questo avviene attraverso tecnologie digitali quali: il sistema CAD/CAM (*Computer-Aided Manufacturing*), il CNC (*Computer Numerical Control*) e la prototipazione rapida.

Gli oggetti fisici sono spesso progettati e sviluppati attraverso software di modellazione tridimensionale, che vengono poi convertiti da dati digitali a dati che le macchine CAD/CAM possano comprendere.

Per questo motivo è molto importante conoscere le tecniche di fabbricazione e le diverse strategie, differenti a seconda del materiale utilizzato, attraverso cui l'idea del progetto possa essere messa in pratica.

Questo processo facilita la connessione tra la creazione, lo sviluppo e la fabbricazione del progetto, fasi che invece nel tradizionale approccio sono separati.

## 2.1.1. Taglio

Si riferisce alla fabbricazione digitale bidimensionale, questo perchè vengono utilizzati fogli planari di: alluminio, acciaio, legno, acrilico etc.. di vari spessori fino a un massimo di 20 mm e trasformati in componenti che poi verranno assemblati per formare strutture tridimensionali. Il materiale bidimensionale attraverso diversi processi come la piegatura (*folding*) può creare forme geometriche complesse, o geometrie con curvatura Gaussiana nulla.

Il *Cutting* è il metodo più economico e comunemente utilizzato nella *digital fabrication*, ci sono differenti tecniche di taglio: taglio laser, taglio a getto d'acqua (*water-jet*), a lama fissa da trascinamento, oscillante o rotante.

La testa da taglio in genere è quella che si muove lungo i due assi x,y seguendo le istruzioni fornite dal disegno. Alla macchina viene fornito un file di formato dxf. che in base al colore della linea o al layer taglia o incide il materiale.



## Taglio laser

La macchina di taglio laser taglia o incide il materiale usando un raggio laser concentrato in un unico punto e settato ad una specifica potenza e velocità a seconda dello spessore e delle proprietà fisiche del materiale utilizzato.

La sua peculiarità è la grande precisione e pulizia nella lavorazione che permette di realizzare forme molto complesse ed elementi dettagliati.

**Materiali:** metallo (no alluminio), tessuti, legno, carta.

**Vantaggi:** precisione del taglio, velocità di esecuzione, non produce polveri, basso costo manutenzione

**Svantaggi:** consumo di molta energia, stress termici sul materiale, gas tossici, limite spess. di taglio, limite dimensionale.

(Fig. 2.1.1\_1)



## Water jet

la macchina da taglio water-jet usa un getto concentrato di acqua combinato con sostanze abrasive per tagliare il materiale. Il maggior vantaggio è che 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.

È possibile tagliare forme in 2D di qualsiasi sagoma con precisioni di  $\pm 0,1$  mm con macchine utensili dette a "3 assi"; o utilizzare robot (5 o più assi) per tagliare prototipi tridimensionale come per esempio caschi, lavorazioni speciali nel campo dell'aeronautica e molto altro ancora.

**Materiali:** ceramica, pietra, metallo

**Vantaggi:** no stress termici sul materiale, no gas tossici, lavorazione a più strati

**Svantaggi:** materiale di scarto, limite spess. di taglio, rumore, dotazioni di protezione

(Fig. 2.1.1\_2)



## Lama fissa

La macchina da taglio a lama fissa è una macchina estremamente economica, veloce e sicura da usare.

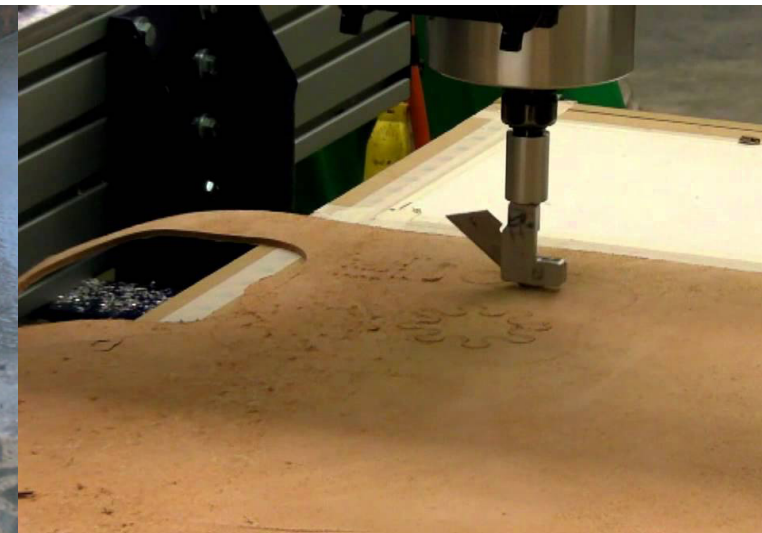
La testa da taglio si muove lungo due assi principali x,y e la lama può essere oscillante, da trascinamento o rotante a seconda dello spessore e del materiale utilizzato.

**Materiali:** carta, plastica, tessuti.

**Vantaggi:** versatilità, basso costo, facile manutenzione, consumi contenuti

**Svantaggi:** consumo della lama e del piano da taglio

(Fig. 2.1.1\_3)





## Taglio laser

“Laser” è l’acronimo di “Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation”, tradotto in italiano “amplificazione di luce mediante emissione stimolata di radiazione.”

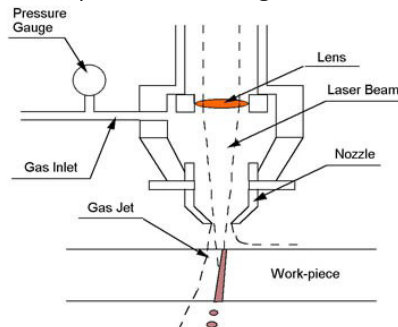
Il “taglio laser” è un processo in cui il fascio laser, ovvero la sorgente di calore generata dall’eccitamento di CO<sub>2</sub>, viene direzionato attraverso un sistema di lenti poste all’interno della testa del laser e incanalato - con l’aiuto di aria compressa - in un fascio ristretto che permette di tagliare il materiale; l’intero processo avviene in depressione d’aria grazie a delle pompe di aspirazione poste all’interno della macchina.

Le macchine di taglio al laser sono principalmente di tre tipi: a movimento del pezzo, ibride e a movimento della testa laser.

Le ultime sono le più utilizzate: la testa del laser si muove sugli assi cartesiani X e Y mentre il pezzo rimane fermo:

in questo modo la massa in movimento è sempre costante e indipendente dalle dimensioni del pezzo su cui si lavora. Inoltre ha un piccolo spostamento anche sull’asse Z, questo perché per un buon taglio è importantissima la regolazione della distanza tra la lente e il materiale da tagliare.

Le macchine di questo tipo sono le più veloci, caratteristica questa che risulta importante quando la lastra che viene tagliata è di piccolo spessore. Il motivo è che più lo spessore è piccolo, meno tempo il laser impiega per fondere il materiale e tagliarlo; con spessori piccoli il laser ha quindi bisogno di poco tempo per effettuare il taglio e la testa può quindi procedere a maggiori velocità.



(Fig. 2.1.1\_4)

Il taglio è guidato dalla potenza, controllata dall'operatore, della sorgente a CO2 e dalla pressione dell'aria compressa: e' evidente che maggiore è la potenza del laser, maggiore sarà lo spessore massimo del materiale tagliabile.

La macchina è generalmente collegata ad un PC con software dedicato che permette di trasformare i vettori del disegno realizzato in comandi di taglio o incisione. I formati supportati sono dxf, eps e pdf; anche se quest'ultimo non consente di fare contemporaneamente taglio, incisione. Per fare questo è necessario differenziare il colore le linee del disegno o separare i due processi tramite layer. Ogni layer verrà associato ad una penna da taglio – ovvero una serie di parametri della potenza e velocità del laser – facendo attenzione ai layer invisibili, nascosti o disattivati e alle linee sovrapposte.

#### Laser cut CO2 del fabLab di Verona



(Fig. 2.1.1\_5)

Caratteristiche della macchina:  
superficie utile: 1200 mm x 900 mm  
potenza: 100 W

Materiali lavorabili:

- legno e compensato
- plexiglass
- cartone
- vetro (solo incisione)
- marmo e granito (solo incisione)

Il laser può tagliare i materiali in base a tre principi diversi: per vaporizzazione, per fusione o per combustione. In tutti e tre i casi, il processo di taglio si innesca e si mantiene grazie all'energia che il raggio laser può concentrare in un punto molto piccolo. A seconda del tipo di laser, del tipo di materiale e delle potenze in gioco può prevalere l'uno o l'altro meccanismo.

Con migliaia di impulsi al secondo il laser è in grado di scaldare il materiale al punto di asportarne una parte infinitesimale e quindi tagliarlo. La velocità con cui si svolge questa operazione fa sì che il materiale non venga danneggiato dal surriscaldamento.



(Fig. 2.1.1\_6)

Quasi tutti i materiali possono essere sottoposti a questo tipo di taglio. Le lamiere in acciaio sono quelle più processate dalle macchine industriali come alcuni materiali inorganici come ad esempio il vetro; mentre per le macchine con minore potenza è possibile tagliare facilmente dei materiali come il legno, la carta, il cartoncino vegetale compresso, la balsa, i tessuti, i materiali polimerici compatti ed espansi come il plexiglass che ha un alto punto di fusione. Per alcuni materiali, come il PVC, l'uso del laser è sconsigliabile: durante la lavorazione termica rilasciano acido cloridrico e gas tossici.

I vantaggi del taglio a laser sono la possibilità di ottenere bordi di taglio molto stretti perfettamente paralleli, la capacità di mantenere molto ridotta la zona che viene alterata termicamente dalla fusione, la capacità di poter operare con macchine automatiche su profili di taglio anche molto complessi ed articolati, eseguendo sagome di taglio con raggi di curvatura ridotti. Inoltre un taglio effettuato con il laser produce un volume di polveri, trucioli e materiali di scarto in pratica nullo. Cosa che rende la pulizia del locale molto più veloce e semplice.

Un'altra caratteristica delle macchine a taglio laser rispetto a quelle a taglio meccanico è che hanno un numero minore di parti mobili. Questa caratteristica che di per sé può sembrare irrilevante diventa invece interessante quando si pensa che poche parti mobili significano usura minore e quindi minore necessità di sostituire i pezzi. La manutenzione di una macchina per il taglio laser è quindi generalmente meno dispendiosa di quella di una macchina meccanica.

I punti a sfavore sono sicuramente la dimensione utile di lavorazione che è legata strettamente alla macchina da taglio laser, come anche lo spessore massimo di processazione del materiale; con una media potenza di 30 W è possibile il taglio di circa 5 mm di legno dolce o di balsa 7 mm. (fab lab italia)

Di conseguenza, dal punto di vista progettuale, comunemente i componenti sono tagliati da fogli di materiali e poi assemblati in forme tridimensionali attraverso le strategie di *tesselating* e *sectioning* o *folding* vista la possibilità di incidere il materiale oltre che tagliarlo.

Da tenere in considerazione è il costo di acquisto elevato ed il dispendio di molta energia per la lavorazione.

## *Water jet*

Il taglio a “water jet” è una macchina che usa un getto concentrato d’acqua ad alta pressione combinato a materiale abrasivo per il taglio principalmente, in architettura, di metalli, pietra e plastica.

Il processo richiama la qualità erosiva dell’acqua già conosciuta in natura, ma più concentrato e accelerato.

Questo sistema è spesso utilizzato quando il materiale da tagliare non è in grado di resistere a temperature elevate associate ad altri tipi di processo di taglio. (R. Naboni, 2015).

Il getto d’acqua può raggiungere una velocità di 1000 m/s e consente di tagliare spessori fino a 400 mm di titanio, vetro, pietra e calcestruzzo (per uno spessore di 180mm) e ceramica, in un tempo proporzionale allo spessore del materiale stesso. (M. Hauschild, 2011)



(Fig. 2.1.1\_7)

Il maggior vantaggio è che 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 rimozione del materiale tagliato avviene per abrasione ed erosione: l’erosione avviene maggiormente nelle zone di impatto perpendicolare nella zona inferiore della parete, mentre l’abrasione avviene di striscio sulla parte superiore della parete della lastra già parzialmente tagliata.

La tecnologia a “water jet” è composta da:



(Fig. 2.1.1\_8)

#### 1. POMPA AD ALTA PRESSIONE

La pompa genera un flusso di acqua ad alta pressione per il processo di taglio.

#### 2. TESTA DI TAGLIO

All'interno della testa di taglio l'acqua in pressione passa attraverso un orificio di piccolo diametro formando un getto compatto. Il getto passa quindi attraverso una sezione di Venturi in cui una quantità dosata di abrasivo viene aspirata nel flusso d'acqua. La miscela di acqua e particelle abrasive passa attraverso uno speciale tubo miscelatore ceramico e, uscendo dall'ugello, forma un getto abrasivo compatto che viaggia a velocità elevatissima.

#### 3. VASCA DI RACCOLTA

La vasca di raccolta dissipa l'energia residua che ha il getto abrasivo aver tagliato il materiale in lavorazione.

#### 4. TRAMOGGIA ABRASIVO

La tramoggia abrasivo provvede a dosare un flusso costante di abrasivo all'ugello.

#### 5. TESTA DI TAGLIO MULTIASSE

Come opzione aggiuntiva, la testa di taglio a più assi controllati, permette tagli angolati e può essere usata per ridurre automaticamente conicità per tagli verticali precisi.

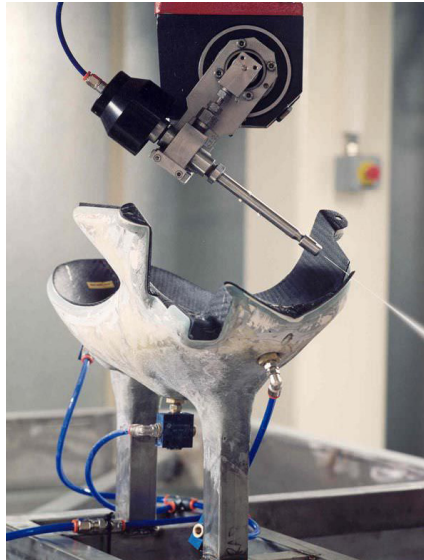
#### 6. PIANO X-Y

Un sistema di movimentazione XY muove con precisione l'ugello per creare il percorso di taglio desiderato.

#### 7. CONTROLLO BASATO SU PC

Controllo avanzato per i sistemi a getto d'acqua abrasivo gestito da un PC permette la produzione di pezzi precisi. (<http://www.omaxitalia.com>)

È possibile tagliare forme in 2D di qualsiasi sagoma con precisioni di  $\pm 0,1$  mm con macchine utensili dette a "3 assi" adottando le strategie di *sectioning*; o utilizzare robot (5 o più assi) per tagliare prototipi tridimensionali come per esempio caschi: strategia del *contouring*.



(Fig. 2.1.1\_9)  
Water jet 5 assi

### **Litocorno**

Questo progetto, presentato al salone del mobile 2015 a Milano, oltre al virtuosismo formale l'opera, è un'autentica sfida al risparmio di materia e di energia.

Grazie ad un accurato disegno e l'impiego della tecnologia di taglio *Waterjet* a 5 assi e la strategia di *sectioning* riesce, partendo da un elemento di soli 30 cm di altezza, a sviluppare un cono scanalato, sinuoso, tortile e cavo di ben 300 cm di altezza, formato da 100 anelli monolitici sovrapposti.

*Prodotta da: Antolini – Sega di Cavaion (VR), Italy*

*Tecnologia: Water-jet*

*Materiale: Bianco Lasa/Covelano "Macchia Vecchia"*



(Fig. 2.1.1\_10)

## *Lama fissa*

La macchina da taglio a lama fissa è uno strumento a controllo numerico ma estremamente economico, veloce e facile da usare; adatto a materiali bidimensionali come il tessuto, la pelle, fogli di plastica, la carta e i suoi derivati.

E'una tecnologia che utilizza la stessa struttura di controllo di una *laser cut* o una *water jet* ma con la differenza della testa che per il taglio adotta lame a consumo.



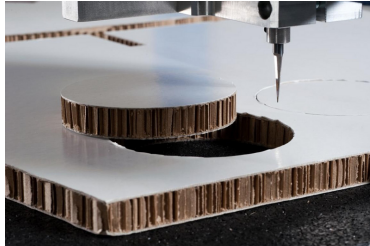
(Fig. 2.1.1\_11)

I plotter da taglio oggi in commercio sono dotati di testa multitensile; offrono quindi la possibilità di eseguire, senza interruzioni, la produzione di prodotti per i quali sia necessaria più di una lavorazione (es. taglio e cordonatura).

Oltre agli utensili più comuni (lama fissa, oscillante, mezzo taglio, cordonatore e taglio inclinato), alcuni costruttori offrono soluzioni per lavorazioni particolari, quali il taglio di tessuti (lama rotativa), il taglio di materiali molto spessi o per l'industria (lama oscillante pneumatica), la marcatura inkjet, la creazione di segnaletica per non vedenti (braille).

### LAMA OSCILLANTE ( RECIPROCATING KNIFE/BLADE)

E' usata per tagliare materiali spessi o più strati di materiale e patterns con una superficie complessa. La lama oscillante può essere elettrica o pneumatica:



(Fig. 2.1.1\_12)

Quella elettrica è usata per tagliare i materiali soffici o porosi e materiali a più strati come il cartoncino corrugato; la lama oscillante pneumatica invece è usata su materiali duri e spessi come la pelle dura e la gomma.

La lama oscillante è particolarmente indicata per il taglio di materiali rigidi, semi rigidi e tessuti multi strato, che sono altrimenti difficili da tagliare con la lama fissa. Esegue tagli di sagome semplici, lineari o curve, ma anche complesse e molto piccole (cerchi con diametro minimo 2 mm).

A causa dell'oscillazione della lama, la superficie del tavolo da taglio deve essere soffice per permettere alla lama di penetrare.

### LAMA DA TRASCINAMENTO ( DRAG BLADE/KNIFE)



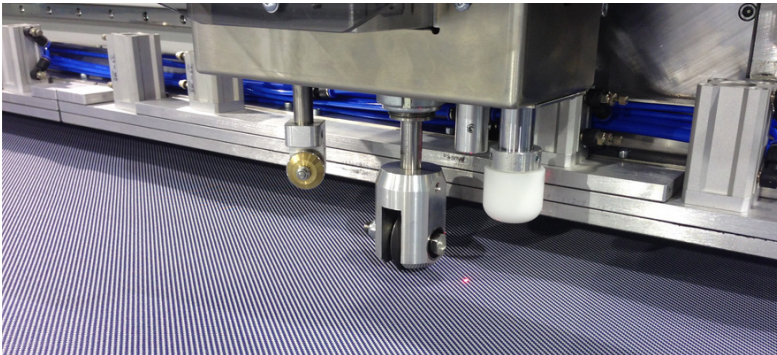
(Fig. 2.1.1\_13)  
Drag blade  
Donektools

La parte tagliante della lama da trascinamento è inclinata, l'angolo di inclinazione adottato dipende dalla proprietà del materiale. Durante il processo di taglio, la lama è trascinata lungo il profilo del componente da tagliare e viene utilizzata quando l'operazione di taglio è molto dettagliato; in genere viene utilizzata su materiali sottili e per un taglio delicato. A causa dell'assenza di oscillazione, il taglio viene effettuato su una superficie dura.

#### LAMA ROTANTE (ROTARY BLADE/KNIFE)

La lama è circolare e ruota sul materiale da tagliare, guidata da un controllore di movimento. E' usata per tagliare plastica, gomma, materiale composito, pelle e materiali tessili e deve essere usata su una superficie di taglio dura.

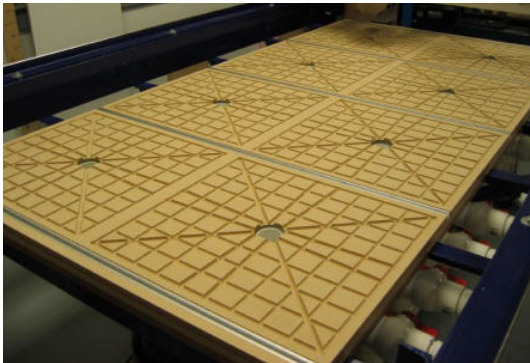
La caratteristica principale della lama a rotella è la sua alta velocità, che viene raggiunta senza esercitare particolare pressione sul materiale. Consente un taglio di sagome lineari, curvate o a cerchio e viene tipicamente utilizzata su materiali come PVC, tessuti spalmati di PVC, altri termoplastici, film in plastica, tessuti accoppiati, compositi, gomma di spessore non elevato, carta, pelle ed eco pelle, tessuti tecnici come acrilico, poliestere, Lycra, espansi di spessore non elevato e materiali isolanti.



(Fig. 2.1.1\_14)

Un'altra parte importante del tavolo è il piano di lavoro. Dalla sua struttura, robustezza e planarità dipendono la precisione nelle lavorazioni più complesse, dalla gamma di materiali lavorabili e alle dimensioni minime dei soggetti che sarà possibile produrre.

Alcuni tavoli da taglio hanno integrato un sistema vacuum che permette di tenere i materiali in posizione sul piano durante il taglio: sul piano sono distribuiti uniformemente i fori che consentono il flusso dell'aria. Fondamentale per massimizzare lo sfruttamento del flusso d'aria è la possibilità di parzializzare l'area aspirata, localizzandola esclusivamente nelle zone in cui si sta lavorando.



(Fig. 2.1.1\_15)  
Sistema  
vacuum

Il tavolo inoltre può avere un sistema statico o a convezione: con il sistema statico il processo di taglio viene effettuato in un solo step su un materiale disposto e fissato lungo la superficie del piano di lavoro da un operatore. Per aumentare la produttività, l'area di lavoro viene divisa in due parti: una parte è occupata dal lavoro della macchina e l'altra libera per far in modo che l'operatore possa raccogliere i pezzi tagliati e preparare più velocemente un altro step di lavoro.

In quello *conveyor*, la superficie del tavolo da taglio è mobile in modo da avere un continuo processo di taglio ed aumentando così la produttività. Il materiale è disposto sull'area di lavoro automaticamente, una vol-

ta tagliato viene trascinato su un altro tavolo dove l'operatore rimuoverà le parti già lavorate mentre il processo di taglio della macchina continua. (I. Vilumson, 2013)

La movimentazione della testa da taglio è gestita da dei motori posti all'interno del braccio –dove è alloggiata la testa stessa- per la movimentazione sull'asse X, e sulle fiancate del sistema per la movimentazione longitudinale sull'asse Y.

La trasmissione del moto è affidata generalmente a sistemi pignone/cremagliera o a cinghia dentata. La solidità del braccio e la tipologia del sistema di movimentazione, sono elementi chiave per determinare la precisione e la velocità del sistema, nonché la sua capacità di affrontare lavorazioni pesanti senza perdite di qualità.

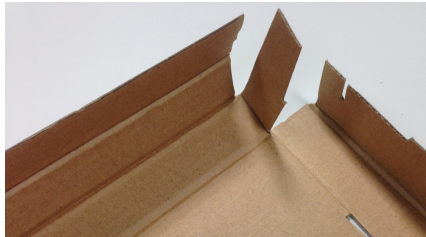
Nonostante la macchina a lama fissa pone dei limiti sullo spessore di materiale da utilizzare, riesce a tagliare sagome in 2D di qualsiasi forma e, come per la macchina a taglio laser, può incidere il materiale o porre una leggera pressione: tecnica che viene definita cordonatura. Cordonare significa piegare un tessuto o un materiale oppure marcarlo premendo con una lama sulla sua superficie per realizzare linee o sagome senza tagliarlo.

Il cordonatore, molto simile ad una lama a rotella, è un utensile tangenziale ed è in grado di realizzare ogni tipo di sagoma.

La testa di cordonatura è solitamente usata su carta, cartone,

tessuti tecnici come acrilico, poliestere, film plastici di spessore non elevato, pelle ed eco pelle.

Questa tecnica permette di adoperare la strategia di fabbricazione folding per realizzare modelli bidimensionali spiegati che poi montati assieme adranno a costituire una superficie free form.



(Fig. 2.1.1\_16)  
Cartone  
cordonato

## Bibliografia e sitografia

ARTURO TEDESCHI, *AAD Algorithms-Aided Design. Parametric strategies using grasshopper*, Le Penseur, 2014

GROOVER, MIKELL P. , *Fundamentals of modern manufacturing : materials, processes, and systems*, Chichester, John Wiley & Son Ltd., 2010

MORITZ HAUSCHILD AND RUDIGER KARZEL, *Digital processes: Planning Design Production*, Basel (CH), Detail practice, 2011

NICK DUNN, *Digital fabrication in architecture*, London, Laurence King Publishing, 2012

ROBERTO NABONI ED INGRID PAOLETTI, *Advanced Customization in Architectural design and Construction*, Milano, Politecnico di Milano ed Springer, 2015

STEVENS, JAMES C., *Digital vernacular : architectural principles, tools and processes*, London, Routledge, 2015

### **Taglio laser**

[www.fablabitalia.it/wiki//Lasercut/Lasercut](http://www.fablabitalia.it/wiki//Lasercut/Lasercut)

[www.tecmatied.wordpress.com/category/tecnologie-innovative/](http://www.tecmatied.wordpress.com/category/tecnologie-innovative/)

### **Waterjet**

[www.antolini.com](http://www.antolini.com)

[www.omaxitalia.com](http://www.omaxitalia.com)

[www.sfcreativelab.it/category/tecnologie-di-taglio/](http://www.sfcreativelab.it/category/tecnologie-di-taglio/)

### **Lama fissa**

I. VILUMSONE-NEMES, *Industrial cutting of textile materials*, Woodhead, 2012

*Italia publisher* n° 01/2015 pag 26-31

[www.elsign-cnc.com](http://www.elsign-cnc.com)

[www.donektools.com/](http://www.donektools.com/)

[www.smre.it](http://www.smre.it)

[www.aeronaut.org](http://www.aeronaut.org)



## 2.1.2. Addizione

Questa tecnica di fabbricazione costruisce lentamente aggiungendo del materiale strato dopo strato. E' comunemente conosciuta come "prototipazione rapida", sebbene include diverse tecniche di fabbricazione, tutte si basano sulla traslazione di informazioni di un progetto tridimensionale in una serie di layer bidimensionali.

Le tecniche di addizione hanno permesso ai progettisti di realizzare oggetti e strutture tridimensionali prima impossibili per la loro complessità sia nei dettagli che nella forma.

Il processo si sviluppa in tre fasi:

- Creazione del modello tridimensionale digitale.
- Esportazione del file in formato STL.
- Conversione del file STL in Gcode attraverso software per lo slicing ( ad es. Cura o Slic3r). Questi software comunicano direttamente con la stampante 3d, convertendo automaticamente il file STL in percorsi in G-code.



## FDM (Fusion Deposition Modeling)

La stampante FDM costruisce depositando strato dopo strato filamenti plastici fusi che solidificandosi vanno a comporre l'oggetto finale.

Questa tecnica richiede un'attenta progettazione delle parti del prototipo, dalle inclinazioni delle superfici, al riempimento interno alle parti a sbalzo. Quest'ultime possono, a volte, richiedere strutture di supporto che poi possono essere facilmente rimosse.

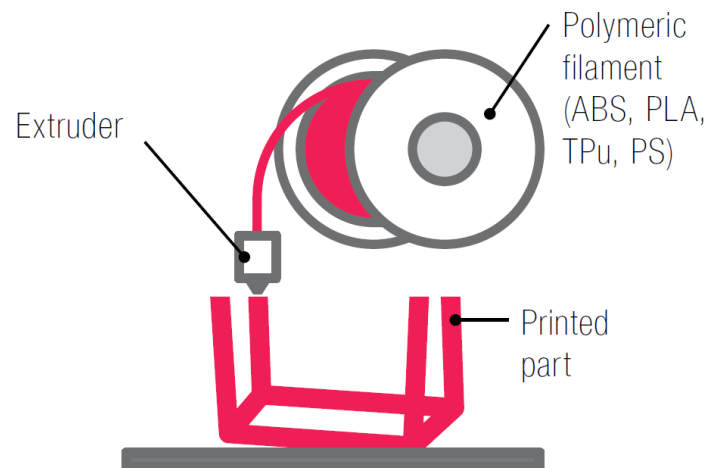
Le ricerche negli ultimi anni si sono mosse verso il **LDM (liquid deposition modeling)** ovvero la deposizione di materiali liquidi a viscosità variabile che permette di sperimentare con innumerevoli tipologie di materiali, tra cui argille, geopolimeri, siliconi, resine e altro ancora.

**Materiali:** materiali plastici (PLA, ABS, NYLON, TPU), organici

**Vantaggi:** velocità di prototipazione, basso costo, facile preparazione software slicing

**Svantaggi:** dimensioni macchina, limiti nella forma dell'oggetto

(Fig. 2.1.2\_1)



## SLA (Stereolitografia)

La stereolitografia (SLA) è un processo di prototipazione rapida nel quale una resina di plastica liquida viene polimerizzata selettivamente tramite l'esposizione a una luce ad alta intensità. E' composta da un recipiente contenente la resina e un piatto mobile che si abbassa ad ogni layer di resina solidificata fino alla realizzazione completa del prototipo, infine viene sottoposta ai raggi UV per la polimerizzazione finale.

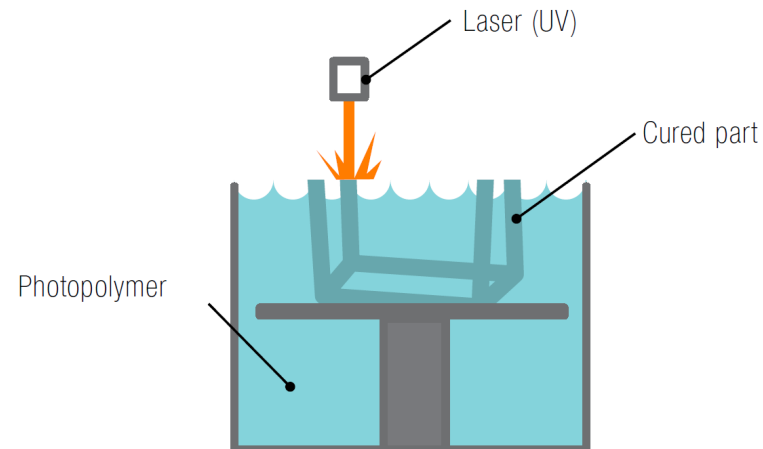
La restante resina, che rimane allo stato liquido, può essere riutilizzata per la prossima lavorazione. Questo comporta però, come per la FDM, la costruzione di strutture di supporto.

**Materiali:** resine epossidiche

**Vantaggi:** precisione

**Svantaggi:** dimensioni macchina, costi elevati

(Fig. 2.1.2\_2)



## SLS (Selective Laser Sintering)

La realizzazione del prototipo per la SLS avviene nello stesso modo che per la SLA con la differenza del materiale utilizzato che si presenta in polvere. Il laser sinterizza layer per layer il prototipo fino alla sua completa realizzazione.

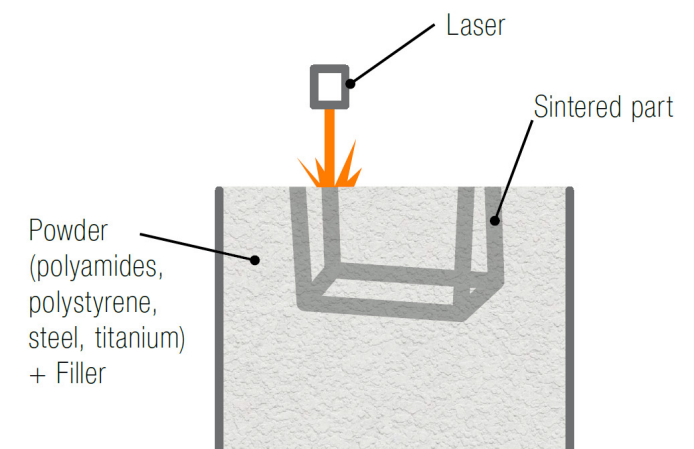
La SLS non richiede strutture di supporto dal momento che le parti sinterizzate sono circondate e supportate dalla polvere non fusa, che può essere riutilizzata poi nelle successive lavorazioni.

**Materiali:** plastica, metalli, ceramica, vetro

**Vantaggi:** utilizzo di numerosi materiali, precisione, no supporti, realizzazione prototipi complessi

**Svantaggi:** dimensioni macchina, costi elevati

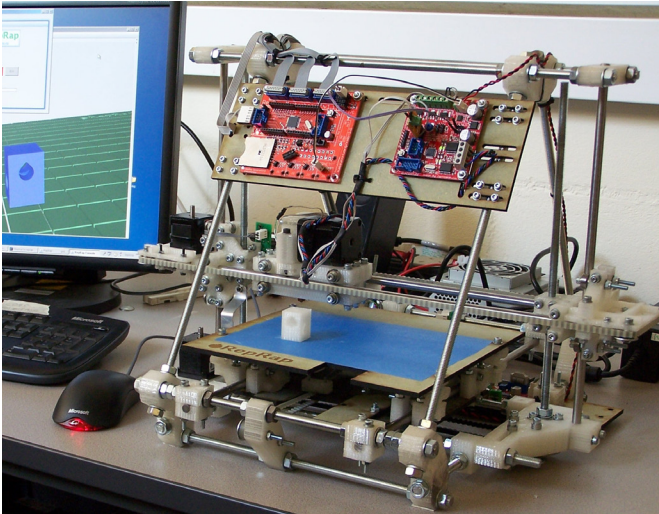
(Fig. 2.1.2\_3)





## *FDM (Fused Deposition Modeling)*

Le stampanti 3D con tecnologia fusion deposition modeling costruiscono gli oggetti strato per strato, dal basso verso l'alto, mediante riscaldamento ed estrusione di un filamento termoplastico. (Nick Dunn, 2012) Negli ultimi anni con la diffusione delle stampanti FDM desktop, sono diventate per eccellenza la tecnologia più usata per la prototipazione rapida, sia per la velocità di esecuzione che per il costo contenuto della macchina e del prodotto finale.

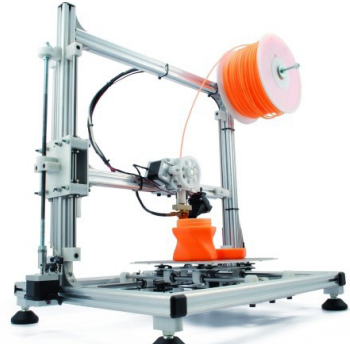


*(Fig. 2.1.2\_4)  
Stampante 3D  
"RepRap Prusa". Una  
delle prime stampanti  
open source.*

La stampante FDM è costituita da una struttura portante che funge da supporto per la testa di stampa, chiamata estrusore, un piatto di stampa dove il prodotto prende vita e un firmware che gestisce la movimentazione. Con la divulgazione di questa tecnologia, sono nate diversi tipi di stampanti FDM che si differenziano nella meccanica, ma che utilizzano lo stesso tipo di controllo su tre assi: hanno cioè un firmware che comanda tre motori passo passo in grado di far muovere nelle tre dimensioni

dello spazio l'estrusore. La struttura portante può essere di tipo chiuso –a scocca - o di tipo aperto –a telaio perimetrale o a barre- cioè con una maggiore possibilità di essere modificata in base all'esigenze dell'utente.

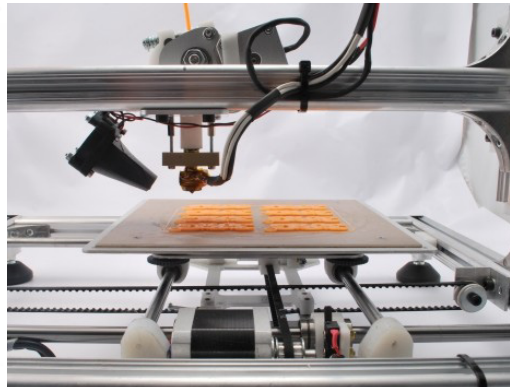
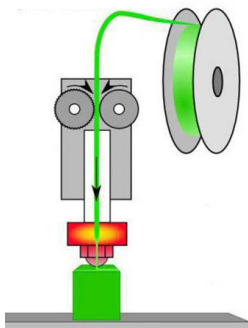
(Fig. 2.1.2\_5,6)  
Stampante 3D con  
struttura portante a  
scocca "Sharebot"  
e a telaio perimetrale  
"3Drag"



L'estrusore - il cuore della macchina - spinge e ritira il filamento plastico tramite una ruota dentata. Il filamento poi, viene riscaldato fino al suo punto di fusione e spinto fuori dall'ugello sul piatto di stampa, una volta depositato si raffredda a contatto con l'aria, o con l'aiuto di una ventola posta sull'estrusore, permettendo così la sovrapposizione di più layer.

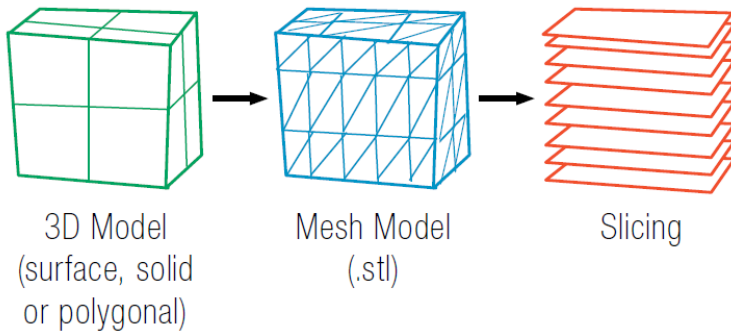
(Fig. 2.1.3\_7,8)  
Disegno  
schematico del  
funzionamento  
di un estrusore.

Stampante  
"3Drag"  
con  
ventola di  
raffreddamento



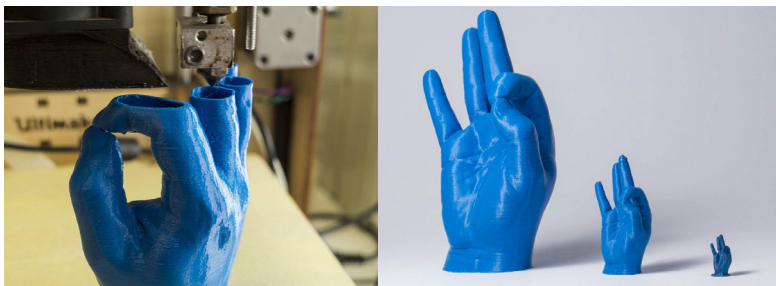
La testa di stampa si muove lungo gli assi X e Y, mentre il piano di stampa si abbassa al termine di ogni strato costruito (come per la "Sharebot"); In

alcuni casi però è il piatto di stampa che si muove sugli assi X e Y mentre l'estrusore si alza sull'asse Z (come per la "3Drag"). Nel primo caso la stampante risulta più stabile e si ha come risultato finale un prodotto più preciso, questo perché l'estrusore è più leggero e meno difficile da spostare rispetto all'intero piatto di stampa.



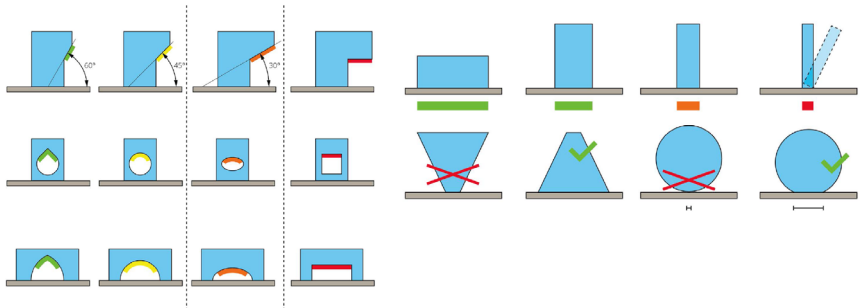
(Fig. 2.1.2\_9)

Ogni stampante FDM ha un firmware, un programma che comunica con la meccanica della macchina e le da istruzioni sui movimenti da effettuare. Queste istruzioni sono contenute in un Gcode, generato da programmi chiamati di slicing che convertono l'oggetto tridimensionale, esportato nel formato .stl, in layer: il file .stl viene utilizzato principalmente per descrivere la geometria della superficie di un modello 3D mentre il Gcode contiene la sequenza di coordinate che instruiranno la macchina alla realizzazione del prototipo.



(Fig. 2.1.2\_10)

Essenzialmente la stampante FDM ha due limiti: il primo è la dimensione dell'oggetto da realizzare che è strettamente legato alla dimensione della stampante, che generalmente non supera i 16 cm cubi; il secondo è la conformazione stessa dell'oggetto che richiede un'attenta progettazione a priori; per esempio non possono essere realizzate superfici a sbalzo o con un'inclinazione superiore ai 30° - rispetto la sua base - se non con strutture di supporto che potranno poi essere eventualmente rimosse.



(Fig. 2.1.2\_11) Disegni schematici sugli errori di progettazione.

(Fig. 2.1.2\_12)  
Oggetto  
realizzato in  
3D con struttu-  
ra di supporto.



Il filamento termoplastico viene prodotto generalmente in spessori di 1,75 mm o 3 mm e può essere di materiali diversi, ognuno dei quali con specifiche caratteristiche, come ad esempio il restringimento che può essere risolto adottando il piatto di stampa riscaldato, adatte quindi a diverse applicazioni. Alcuni materiali che possono essere trovati in commercio sono:

### **ABS**

Temperatura di stampa: 220/230 gradi, piatto riscaldato 70/110 gradi

Caratteristiche: ABS è un comune polimero termoplastico utilizzato per creare oggetti leggeri e rigidi, come per es. i lego. Ha un alta % di ritiro.

### **PLA**

Temperatura di stampa: 190/210 gradi, no piatto riscaldato

Caratteristiche: L'acido polilattico o PLA deriva da piante come il mais, che rendono questa plastica biodegradabile. Transitiva direttamente da solido a liquido. Ha minore resistenza meccanica rispetto all' ABS, è un materiale più rigido ma ha maggiore lucentezza. E' adatto per realizzare oggetti molto precisi con spigoli vivi

### **HIPS**

Temperatura di stampa: 210 gradi, no piatto riscaldato

HIPS è un materiale termoplastico costituito da polistirene e gomma stirene-butadiene

Permette stampa di maggior definizione rispetto ad ABS e PLA. Spesso utilizzato per supporti da sciogliere in limonene.

### **NYLON**

Temperatura di stampa: 230 gradi, piatto riscaldato 90 gradi

Caratteristiche: Nylon è un polimero sintetico, è un materiale alta resistenza e per la costruzione di parti meccaniche

### **TPE**

Temperatura di stampa: 220 gradi, no piatto riscaldato

Caratteristiche: TPE è un elastomero termoplastico appositamente formulato con proprietà elastiche.

### **PET**

Temperatura di stampa: 210 gradi , no piatto riscaldato

Caratteristiche: Il polietilene tereftalato o PET modificato con l'aggiunta di glicole, offre un'ottima combinazione di proprietà come la durezza , la chiarezza e la rigidità

Le ricerche negli ultimi anni si sono mosse verso il LDM (liquid deposition modeling) ovvero la deposizione di materiali liquidi a viscosità variabile che permette di sperimentare con innumerevoli tipologie di materiali, tra cui argille, geopolimeri, siliconi, resine e anche cioccolato. La modifica sostanziale apportata alla macchina è sull'estrusore che non deve più riscaldare all'istante un filamento ma deve calibrare e gestire un materiale già allo stato liquido.



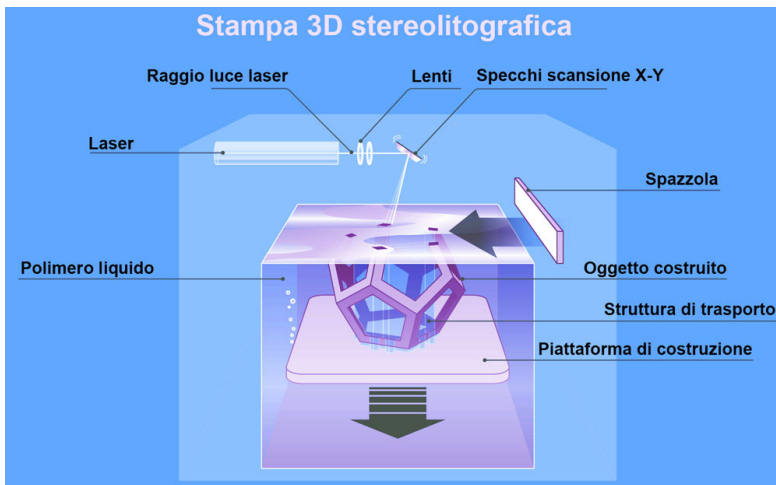
(Fig. 2.1.2\_13) Stampante "3Drag" con estrusore di cioccolato

## SLA (Stereolitografia)

La stereolitografia (SLA) è la più vecchia tecnica di prototipazione rapida, ma è tutt'oggi molto utilizzata, in quanto permette di ottenere oggetti con un ottimo dettaglio superficiale.

La tecnica SLA a differenza della FDM, non prevede la fusione di un polimero solido, bensì la solidificazione di un fotopolimero liquido. Quest'ultimo, infatti, viene posto in un recipiente, e un fascio laser, con intensità pari all'energia richiesta dal polimero per reticolarsi, investe lo stesso e lo reticola solidificandolo.

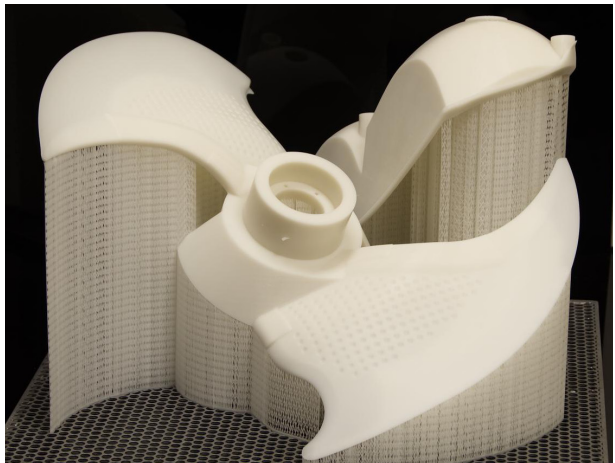
Anche la SLA, come la FDM, è un processo che costruisce strato per strato. Inizialmente il piano di supporto è rivolto verso l'alto e, man mano che il laser solidifica la resina, esso affonda sempre più ricoprendo le parti fotoindurite con la resina liquida. Lo spostamento sull'asse Z quindi è affidato al piano di supporto mentre al laser è affidato lo spostamento sugli assi X e in Y. La fonte laser è fissa, e un sistema di specchi si occupa di focalizzare il laser nei punti in cui va solidificato il fotopolimero.



(Fig. 2.1.2\_14)

Al termine di questa fase, l'oggetto risulta solidificato all'esterno ma non completamente all'interno: per ragioni di tempo di polimerizzazione il laser non può solidificare integralmente la sezione dell'oggetto, ma si limita al suo profilo ed ad un certo numero di linee che congiungono il perimetro interno con quello esterno. Per questo motivo necessita di un post-trattamento che consente di completare il processo di polimerizzazione, quest'ultimo consiste nell'esposizione del modello ad una lampada ad ultravioletti.

Come per la FDM, la fabbricazione di un modello complesso necessita la costruzione di strutture di supporto - che potranno poi essere successivamente rimosse -, questo perchè la resina che non viene polimerizzata rimane allo stato liquido. Infatti quella che rimane dopo la lavorazione, può essere riutilizzata.



(Fig. 2.1.2\_15)  
Oggetto realizzato con  
strutture di supporto.

I vantaggi di questa tecnologia di prototipazione sono la qualità del prodotto finito, nonostante il limite dimensionale imposto dalla macchina stessa, esso si presenta con ottime finiture superficiali, ottime tolleranze geometriche e dimensionali rispetto al modello virtuale 3D.

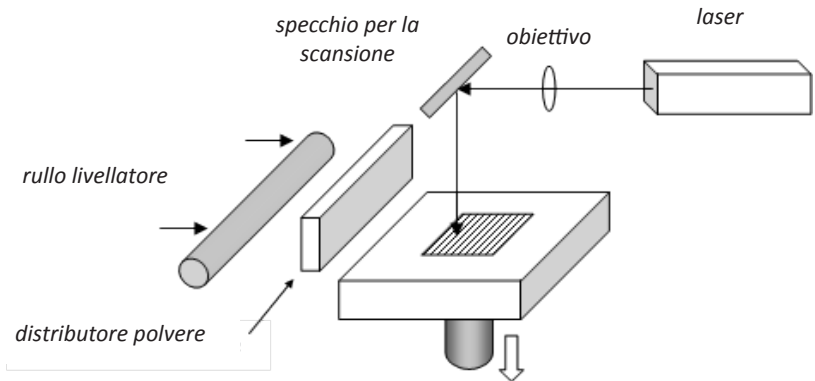
Gli svantaggi risiedono sicuramente nel costo elevato della macchina e soprattutto dei polimeri utilizzati, e la necessità di una post-produzione. Infatti prima di sottoporre l'oggetto in una camera a lampade ultravioletti deve essere lavato dal polimero liquido in eccesso che ancora lo bagna.



*(Fig. 2.1.2\_16) Stampante 3D con stereolitografia laser "Form1+", creata da un team di ingegneri e designer dell'Università americana MIT*

## ***SLS ( Selective Laser Sintering)***

La sinterizzazione laser, chiamata anche SLS (Sinterizzazione Laser Selettiva), fa impiego di polveri - termoplastiche, metalliche o silicee - e come dice il nome, fa uso di un laser per sinterizzare i materiali impiegati per la costruzione dell'oggetto.

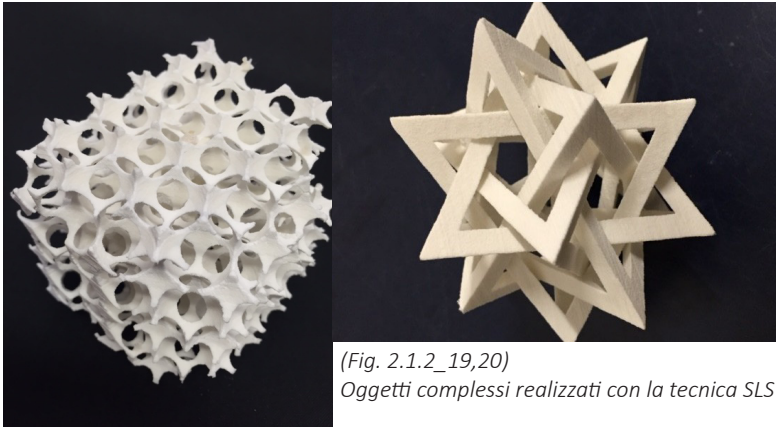


(Fig. 2.1.2\_17) Il principio di funzionamento è simile alla SLA: uno strato di polvere viene steso e rullato in modo da creare un piano uniforme, subito dopo un laser fornisce il calore necessario affinché nel punto colpito avvenga la fusione - nel caso stessimo utilizzando polveri di polimero termoplastico, - o una sinterizzazione - nel caso stessimo utilizzando polveri metalliche o ceramiche -.

(Fig. 2.1.2\_18)  
Processo di  
sinterizzazione  
e prodotto  
sinterizzato



La creazione del prototipo avviene dal basso verso l'alto: il piano di supporto -prima del passaggio del rullo- abbassa l'oggetto, mentre i dispenser di polvere salgono mostrando un nuovo strato di polvere; il rullo spalma questo strato lungo tutto il piano compattandolo; il laser, in seguito, procede con la sinterizzazione o fusione dell'ulteriore strato. Il ciclo continua fino al completamento dell'oggetto.



(Fig. 2.1.2\_19,20)

Oggetti complessi realizzati con la tecnica SLS

Tra tutte le tecnologie di prototipazione rapida questa è sicuramente la più apprezzata e versatile: può utilizzare non solo materiali polimerici termoplastici ma anche polveri metalliche come quelle di titanio, alluminio, magnesio e zinco. Inoltre la SLS non richiede strutture di supporto per la creazione di oggetti complessi, dal momento che le parti sinterizzate sono circondate e supportate dalla polvere non fusa, che può essere riutilizzata poi nelle successive lavorazioni. Uno degli svantaggi però è senz'altro il limite dimensionale posto dalla macchina, il costo del macchinario stesso e del materiale utilizzato. Inoltre il pezzo finito esce dal macchinario ricoperto da una polvere molto compatta che necessita la rimozione mediante raschietti oppure con piani vibranti che ne facilitano il distacco; invece per pulire le superfici che possono essere molto articolate, si prosegue con un processo di sabbiatura.

Anche per la SLS molte aziende si stanno muovendo per la realizzazione di una macchina a basso costo - rispetto alle macchine professionali - come la Sharebot con la sua nuova sinterizzatrice laser "SnowWhite", capace anche di sinterizzare lo zucchero. Questo risultato apre incredibili prospettive di sviluppo per la sinterizzazione, sperimentata anche in campi estremamente inusuali.



(Fig. 2.1.2\_21)  
Oggetto stampato in zucchero, grafene e nylon  
con stampante "SnowWhite"



(Fig. 2.1.2\_22)  
Stampante SLS "SnowWhite" della Sharebot

## Bibliografia e sitografia

GROOVER, MIKELL P. , *Fundamentals of modern manufacturing : materials, processes, and systems*, Chichester, John Wiley & Son Ltd., 2010

MORITZ HAUSCHILD AND RUDIGER KARZEL, *Digital processes: Planning Design Production*, Basel (CH), Detail practice, 2011

NICK DUNN, *Digital fabrication in architecture*, London, Laurence King Publishing, 2012

ROBERTO NABONI ED INGRID PAOLETTI, *Advanced Customization in Architectural design and Construction*, Milano, Politecnico di Milano ed Springer, 2015

STEVENS, JAMES C., *Digital vernacular : architectural principles, tools and processes*, London, Routledge, 2015

### **FDM (Fused Deposition Modeling)**

[www.piulab.it/](http://www.piulab.it/)

[www.tecmatied.wordpress.com/category/tecnologie-innovative/](http://www.tecmatied.wordpress.com/category/tecnologie-innovative/)

[www.oneoff.it/modellazione-a-deposizione-fusa/](http://www.oneoff.it/modellazione-a-deposizione-fusa/)

### **SLA (Stereolitografia)**

[www.formlabs.com/](http://www.formlabs.com/)

### **SLS (Selective Laser Sintering)**

[www.makepartsfast.com](http://www.makepartsfast.com)

[www.cimindustry.com](http://www.cimindustry.com)

## 2.1.3. Sottrazione

La forma viene creata da un esistente volume solido, la lavorazione avviene rimuovendo il materiale superfluo attraverso la fresatura (*milling*) o la tornitura (*router*). Il processo di fresatura e tornitura risultano molto simili perchè entrambi utilizzano uno strumento con moto rotatorio per rimuovere il materiale. Le più utilizzate sono le frese che utilizzano gli stessi output di una macchina di taglio con l'aggiunta del terzo asse Z.

Se indica solo la profondità del taglio sono chiamate frese 2,5D, poichè si muovono simultaneamente solo in due direzioni x e y ; Frese 3D se riescono a muoversi in tutti e tre gli assi contemporaneamente.

Non tutte le geometrie possono essere realizzate usando la fresatura a 3 assi, per questo in molti casi le strutture da realizzare devono essere scomposte in più parti per evitare il sottosquadra.

Le macchine più avanzate possono muoversi in 5 assi ( x, y, z, asse di rotazione della testa e asse di rotazione del pezzo) o 6 assi (braccio antropomorfo), queste frese hanno un costo molto elevato e sono utilizzate in ambito industriale ma riescono a realizzare qualsiasi oggetto complesso.

Dopo aver disegnato il progetto su CAD (Computer Aided Drafting) o in un software di modellazione 3D, è necessario generare percorsi con un software CAM (computer-aided manufacturing). Per farlo si devono specificare le dimensioni e la posizione del materiale, le dimensioni e le caratteristiche della fresa e la velocità degli assi.



## **Tornio**

La tornitura avviene mediante l'asportazione di materiale da un volume tridimensionale che ruota attorno al proprio asse, mentre l'utensile tagliente si muove in moto rettilineo.

**Materiali:** Legno e metallo

**Vantaggi:** multilavorazione (forature, smussature), solidità

**Svantaggi:** preparazione del software CAM più complessa, materiale di scarto e polveri, dimensione della macchina e costo (rispetto alla stampante 3d), motori potenti

(Fig. 2.1.3\_1)



## **Fresa**

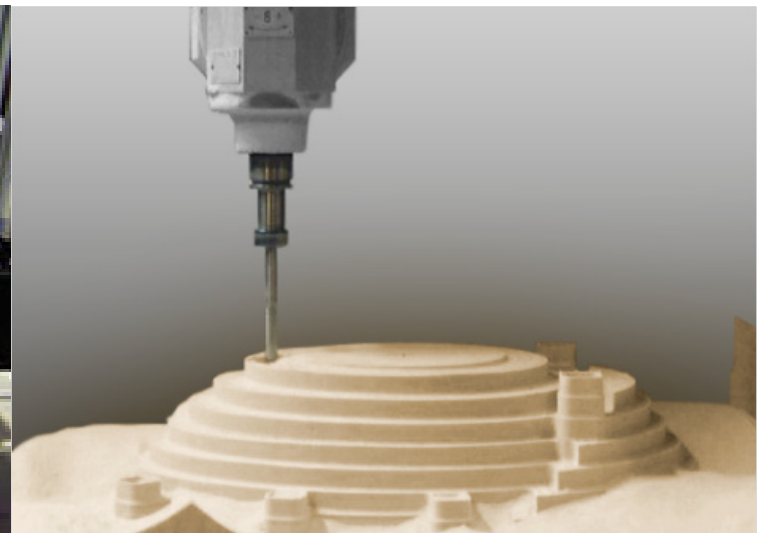
La fresatura è una lavorazione per asportazione di materiale che consente di ottenere una vasta gamma di superfici (piani, scanalature, spallamenti, ecc.) mediante la rotazione sul proprio asse di un utensile pluritagliente a geometria definita, montato su un asse capace di muoversi in diverse traiettorie. Il ciclo lavorativo richiede inizialmente una fase di grossatura che serve ad abbozzare la forma dell'oggetto e poi una di finitura che asporta le ultime parti eccedenti realizzando una superficie più liscia.

**Materiali:** Legno, materiali compositi, metallo

**Vantaggi:** multilavorazione (forature, smussature, tagli), solidità

**Svantaggi:** preparazione del software CAM più complessa, materiale di scarto e polveri, dimensione della macchina e costo (rispetto alla stampante 3d), motori potenti, costo elevato unitario

(Fig. 2.1.2\_2)

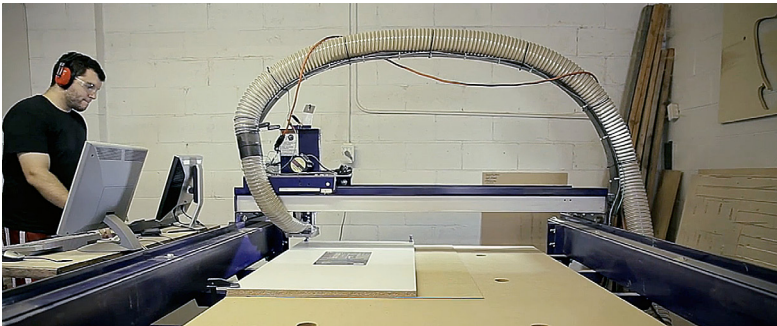




## ***Fresa (Router)***

La fresa a controllo numerico è una delle più note tecnologie di fabbricazione utilizzate nell'ambito architettonico, poiché offre ai progettisti una vasta gamma di opzioni per processare materiale definiti duri attraverso l'utilizzo di multi-assi con indicazioni generate direttamente dalla progettazione CAD.

E' una lavorazione per sottrazione, cioè per asportazione di materiale mediante la rotazione sul proprio asse di un utensile pluritagliente a geometria definita, montato su un asse capace di muoversi in diverse traiettorie. L'utensile svolge l'azione di taglio sul lato invece che sulla punta, quindi erodendo il materiale invece che forandolo.



(Fig. 2.1.3\_3)



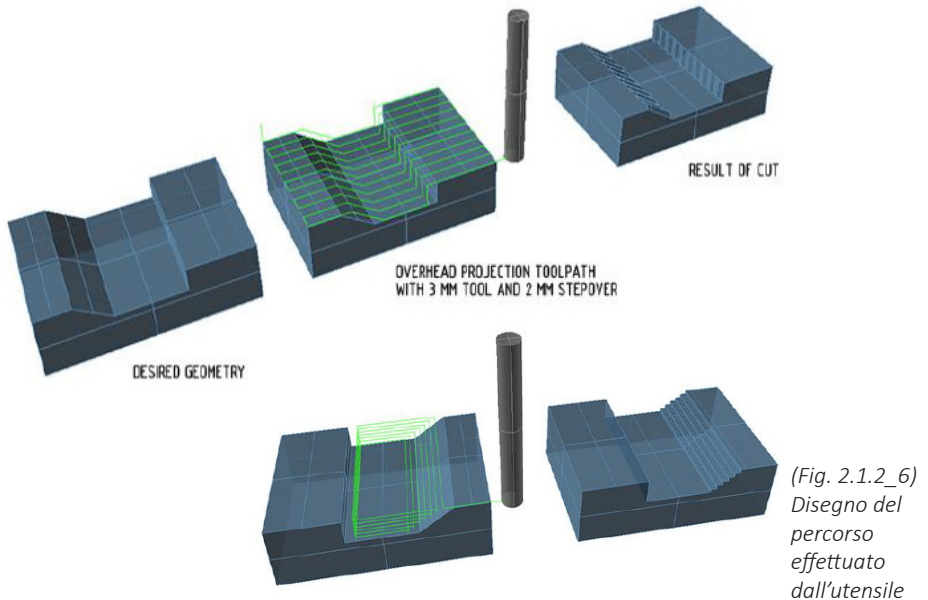
(Fig. 2.1.2\_4)

A seconda della libertà imposta agli assi si hanno diverse lavorazioni. Le macchine definite a 2 assi e  $\frac{1}{2}$  (frese 2,5D) sono simili per lavorazioni al taglio laser o al waterjet; quelle a 3 assi (frese 3D) in cui è possibile gestire le movimentazioni simultaneamente sugli assi X, Y e Z. Le macchine più avanzate possono muoversi in 5 assi (x, y, z, asse di rotazione della testa e asse di rotazione del pezzo) sono adatte a realizzare forme più complesse o 6 assi (braccio antropomorfo), queste frese hanno un costo molto elevato e sono utilizzate in ambito industriale ma riescono a realizzare qualsiasi oggetto tridimensionale.



(Fig. 2.1.2\_5) Realizzazione oggetto con fresa CNC 5 assi

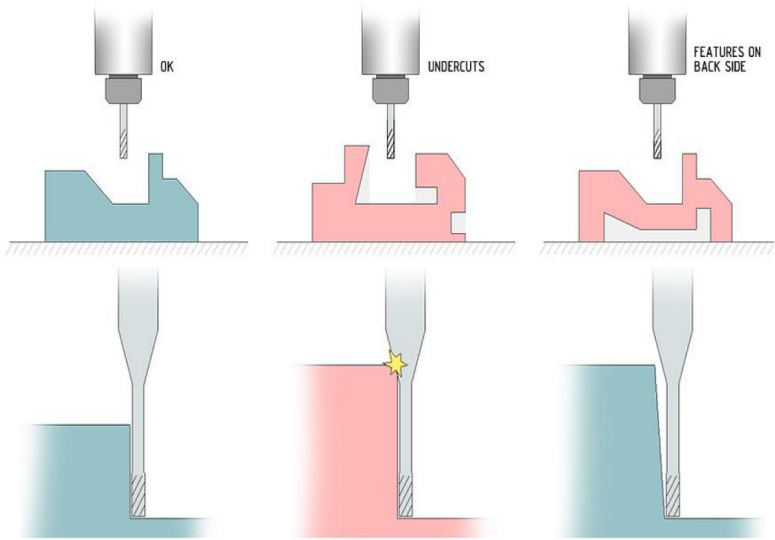
Come la maggior parte dei processi di *digital fabrication*, le frese a controllo numerico hanno un programma interno che traduce il disegno in operazioni chiamate “percorso utensile”. Il file generato da software tridimensionali, generalmente di formato .dxf e pdf (per lavorazioni 2D) e .stp e .iges (per lavorazioni 3D), viene gestito da un programma CAD/CAM in cui è possibile definire i parametri della macchina dalla velocità alle tolleranze, la regolazione dei vari utensili utilizzati, ai tipi di percorsi da effettuare: simula il processo di fresatura prima che il lavoro inizi. E’ possibile effettuare la stessa lavorazione ma con percorsi diversi.



Inoltre il ciclo lavorativo richiede inizialmente una fase di sgrossatura che serve ad abbozzare la forma dell'oggetto e poi una di finitura che asporta le ultime parti eccedenti realizzando una superficie più dettagliata e quindi più liscia.

La macchina da fresatura è molto versatile, è possibile processare diversi materiali con un'alta qualità del prodotto finale con tolleranze centesimali, ma richiede una manodopera specializzata. Inoltre ogni materiale deve essere processato con un utensile specifico, e l'utensile stesso è un limite nella lavorazione: il tagliente -la parte dell'utensile che esegue la lavorazione- nelle frese a 3 assi non può realizzare i sottosquadra e non può fresare il pezzo in profondità di una misura superiore alla sua lunghezza fisica.

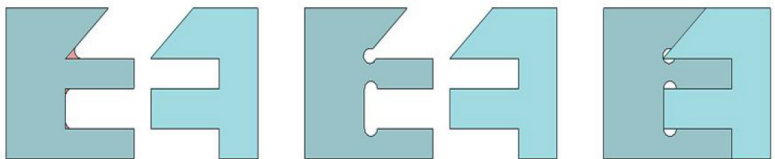
La lavorazione di un pezzo ha un costo unitario alto rispetto alle altre tecniche di lavorazione, la fresatura è un processo lento e non è adatta



(Fig. 2.1.2\_7)  
Limite dimensionale dell'utensile nella lavorazione

a una produzione in serie; inoltre il lavoro di sottrazione prevede una quantità di scarto di materiale piuttosto elevata.

Un'altro svantaggio è nella raggiatura degli spigoli interni, la parte tagliente roteando sul proprio asse non permette la realizzazione di angolo a 90°.



(Fig. 2.1.2\_8) Limite della raggiatura degli spigoli interni

## Bibliografia e sitografia

MORITZ HAUSCHILD AND RUDIGER KARZEL, *Digital processes: Planning Design Production*, Basel (CH), Detail practice, 2011

NICK DUNN, *Digital fabrication in architecture*, London, Laurence King Publishing, 2012

ROBERTO NABONI ED INGRID PAOLETTI, *Advanced Customization in Architectural design and Construction*, Milano, Politecnico di Milano ed Springer, 2015

STEVENS, JAMES C., *Digital vernacular : architectural principles, tools and processes*, London, Routledge, 2015

[www.miocugino.com](http://www.miocugino.com)

[www.heliosautomazioni.com/it/news/news-glomus](http://www.heliosautomazioni.com/it/news/news-glomus)

## 2.2. Strategie di progettazione

Questa parte di tesi vuole esplorare, in accordo con le varie tecniche di fabbricazione e l'uso dei programmi parametrici, le strategie di progettazione che sono nati negli ultimi 50 anni: sectioning, tessellating, folding, contouring, forming.

Questo tipo di progettazione è definito soprattutto dalla conoscenza concreta delle caratteristiche dei materiali, come ad esempio le proprietà dimensionali, la durata, la deformazione, i tipi di connessione, i relativi costi e la finitura. Queste caratteristiche sono uno strumento primario per definire la forma e le relazioni geometriche attraverso la progettazione parametrica, e permettono di comprendere il rapporto tra i materiali, i processi, la fabbricazione e la costruzione. (C. Beorkrem, 2013)

Ogni sezione introduce le caratteristiche base di ogni processo e, successivamente, un'analisi più dettagliata -attraverso la descrizione di alcuni progetti- dimostra come gli architetti abbiano manipolato i metodi costruttivi per la progettazione in base alla digital fabrication. (L. Iwamoto, 2009)



## Contouring

E' una tecnica che riconfigura una superficie e crea un elemento tridimensionale da uno bidimensionale di partenza usando la tecnica sottrattiva, rimuove materiale attraverso una serie di incisioni o contorni.

**Tecnica utilizzata:** *Water-jet*, Fresa a 3, 4 o 5 assi

**Materiali:** legno, poliuretano

**Vantaggi:** realizzazione di elementi tridimensionali

**Svantaggi:** scarto di molto materiale, tempo di lavorazione singolo elemento

(Fig. 2.2\_1)



## Folding

E' un processo che, attraverso l'uso di strumenti cad/cam, trasforma una superficie *free-form* in modelli bidimensionali spiegati. Le macchine utilizzate frequentemente sono i laser cutters o quelle a lama fissa che possono incidere il materiale e non solo tagliarlo in tutto il suo spessore, offrendo la possibilità di piegare più facilmente il materiale e allo stesso tempo mantenendone la propria rigidità. Inoltre possono forare il materiale facilitandone il montaggio futuro.

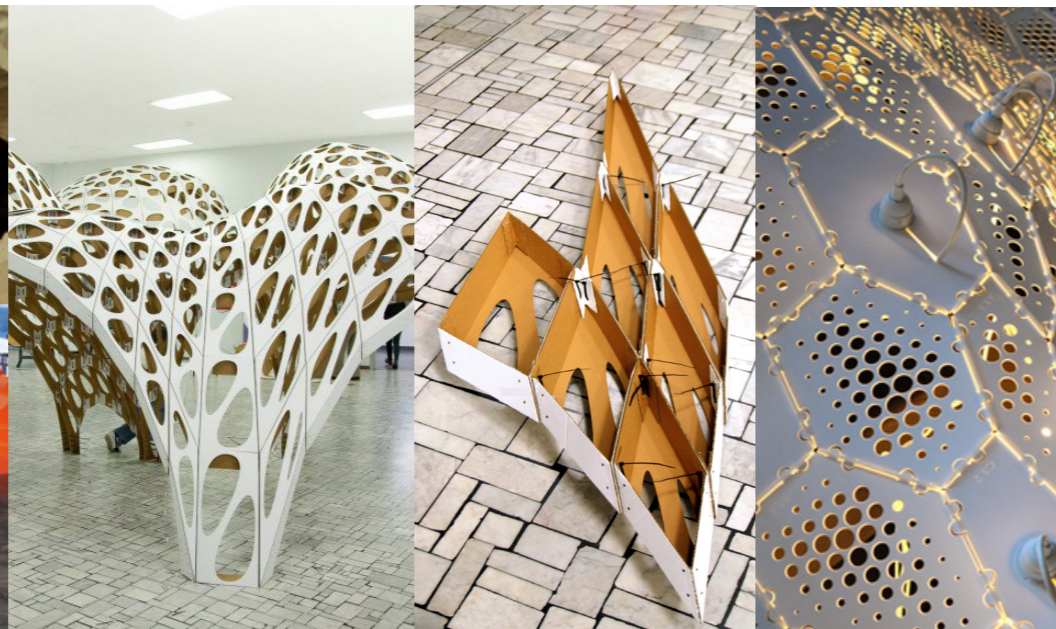
**Tecnica utilizzata:** *laser cutters*, lama fissa

**Materiali:** acciaio, plastica, cartone

**Vantaggi:** realizzazione di superfici free-form

**Svantaggi:** tempo di realizzazione e montaggio

(Fig. 2.2\_2)



## Tessellation (Tiling)

Questo processo implica lo sviluppo di singoli componenti che una volta montati assieme formano una superficie piana senza sovrapposizione o spazi vuoti. Questa superficie tassellata fa riferimento direttamente alla mesh definita dai programmi di progettazione 3d.

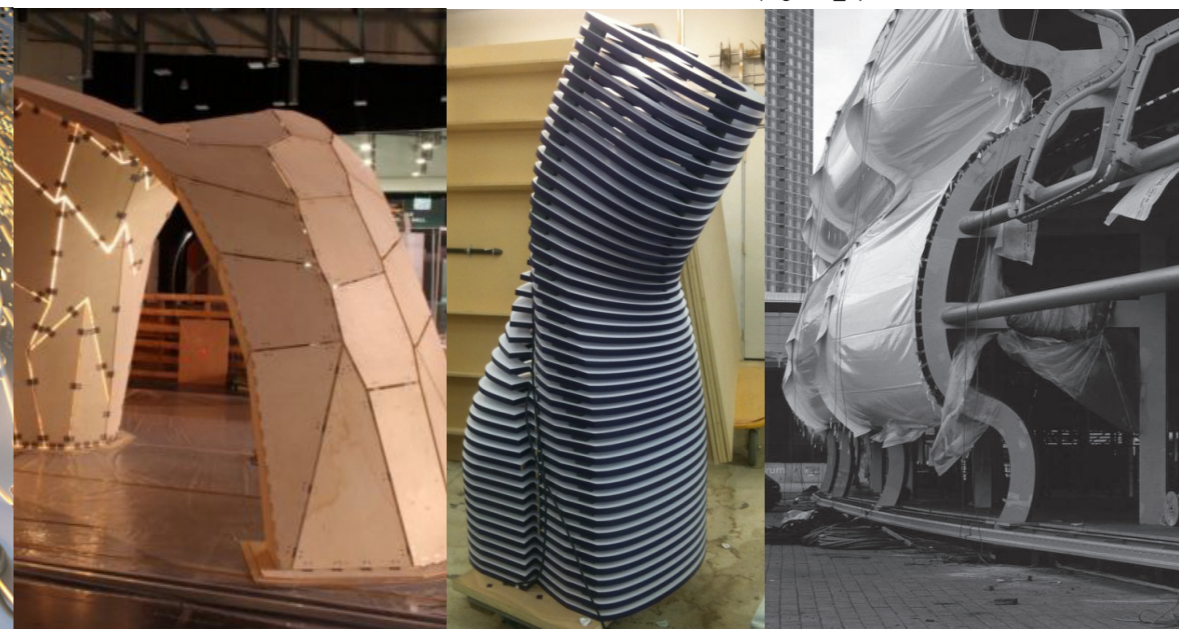
**Tecnica utilizzata:** *laser cutters*, fresa, *waters-jet cutter*

**Materiali:** vari

**Vantaggi:** realizzazione di superfici free-form

**Svantaggi:** tempo di realizzazione e montaggio

(Fig. 2.2\_3)



## Sectioning

E' un metodo che crea molteplici sezioni (orizzontali e/o verticali) sul modello digitale, che creano una veloce e effettiva raccolta di dati per il processo CAD/CAM. I profili bidimensionali una volta che son stati rimontati assieme seguono con i loro bordi la linea della forma geometrica generatrice.

**Tecnica utilizzata:** *laser cutters*, fresa, *waters-jet cutter*

**Materiali:** vari

**Vantaggi:** forme e superfici complesse

**Svantaggi:** scarto di materiale

(Fig. 2.2\_4)



## Forming

E' un processo che crea i componenti attraverso uno stampo o una forma.

Crea moduli positivi e negativi (maschio - femmina). Gli stampi sono aperti (maschio o femmina), se la superficie da definire è unica, a due semistampi femmina appaiati per gli oggetti cavi, a due semistampi maschio e femmina appaiati se l'oggetto si ha riempiendo la cavità (impronta) dello stampo. Iniezione del materiale sotto pressione nella cavità dello stampo e, infine, nella sua solidificazione per raffreddamento all'interno della cavità di stampo.

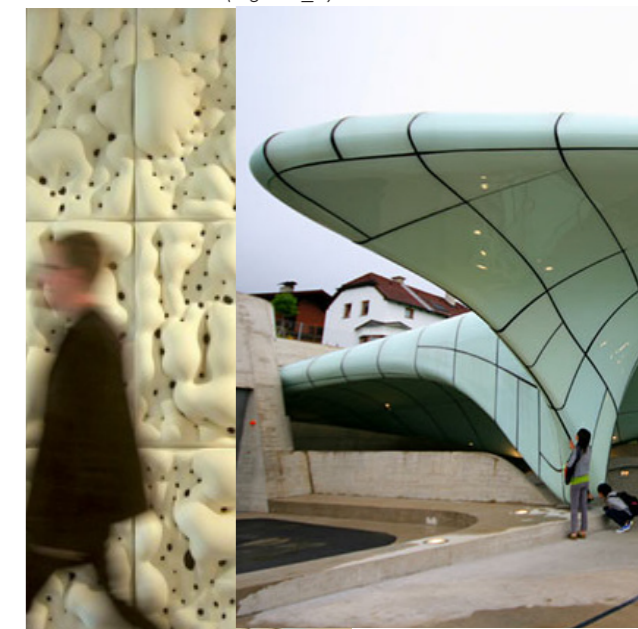
**Tecnica utilizzata:** fresa e stampa 3d

**Materiali:** vari

**Vantaggi:** produzione industriale

**Svantaggi:** limiti definiti dal modulo di stampa, tempo di realizzazione singolo modulo, lavorazione complessa

(Fig. 2.2\_5)





## Bibliografia e sitografia

CHRISTOPHER BEORKREM, *Material strategies in digital fabrication*, New York, Routledge, 2013

LISA IWAMOTO, *Digital fabrications : architectural and material techniques*, New York : Princeton architectural press, 2009

NICK DUNN, *Digital fabrication in architecture*, London, Laurence King Publishing, 2012



## 2.3. Architetture contemporanee

In seguito allo studio delle architetture vernacolari -focalizzato sulle tecniche costruttive e sui materiali utilizzati in base alle risorse disponibili- e in seguito all'approfondimento sulle tecniche di fabbricazione contemporanee, ho cercato di trovare degli esempi tangibili e già realizzati di architetture che possano essere il risultato e l'espressione di come le nuove tecnologie siano in grado di essere una valida risposta per la progettazione di rifugi d'emergenza.

L'utilizzo delle macchine a controllo numerico ha portato nel campo della progettazione e della fabbricazione nuovi traguardi prima irraggiungibili: le diverse strategie di progetto consentono di manipolare i materiali e raggiungere delle forme a basso costo e con minori sprechi.

Come per la ricerca sulle architetture tradizionali, si è cercato di suddividere le nuove proposte attuali in base al materiale utilizzato, in modo da avere un paragone immediato tra le stesse.



## LEGNO

### WikiHouse

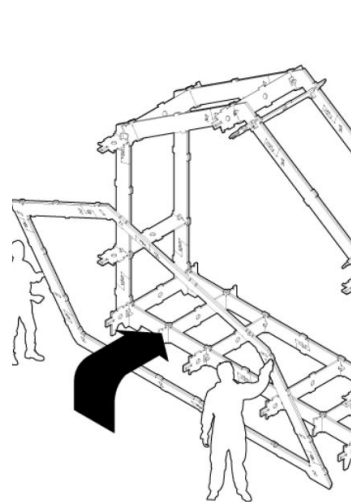
WikiHouse è una kit di costruzione open source. L'obiettivo è di permettere a chiunque di progettare, scaricare, e 'Stampare' case e componenti attraverso l'uso di una macchina da fresa (CNC milling), e successivamente essere assemblati velocemente con un minimo di formazione. Il montaggio avviene tramite incastri e "mollette" fresate anch'esse assieme ai componenti, senza la necessità di viti.

[www.wikihouse.cc/](http://www.wikihouse.cc/)

**Tecniche di fabbricazione:** fresa, taglio laser, lama fissa

**Tooling:** sectioning

(Fig. 2.3.1\_1)



### Fire Shelter, Shjworks

Ispirandosi alle forme dell'architettura dei popoli nomadi, Simon Hjermin Jensen ha realizzato un riparo temporaneo. Con un'altezza di 4,7 metri e un diametro a terra di 3,8 metri, la struttura consiste in elementi in legno il cui spessore varia dai 2 ai 9 mm, uniti da bulloni e una striscia di policarbonato.

[www.shjworks.dk/](http://www.shjworks.dk/)

**Tecniche di fabbricazione:** fresa, taglio laser

**Tooling:** tessellation

(Fig. 2.3.1\_2)



### Dukta, structural Skin

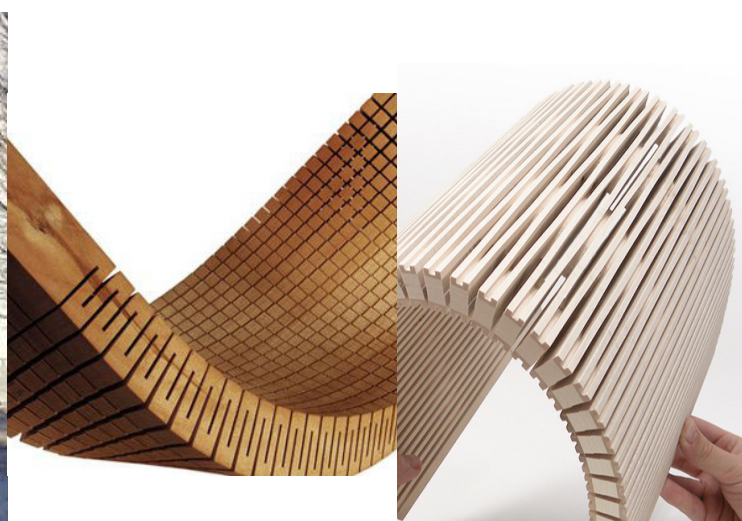
Questo progetto presenta un'altro modo di processare il legno. Fresando opportunamente la superficie di una tavola di legno puoi ottenere la curvatura della tavola senza giunzioni.

[www.dukta.com/](http://www.dukta.com/)

**Tecniche di fabbricazione:** fresa

**Tooling:** contouring

(Fig. 2.3.1\_3)



### Wood-Skin

Wood-Skin sfrutta pienamente le potenzialità delle macchine CNC attraverso l'uso di un materiale composito che permette di creare facilmente illimitate cerniere ad alta resistenza che rendono un materiale come il legno flessibile capace di riprodurre forme organiche.

[www.wood-skin.com/](http://www.wood-skin.com/)

**Tecniche di fabbricazione:** fresa

**Tooling:** contouring, tessellation

(Fig. 2.3.1\_4)





## WikiHouse

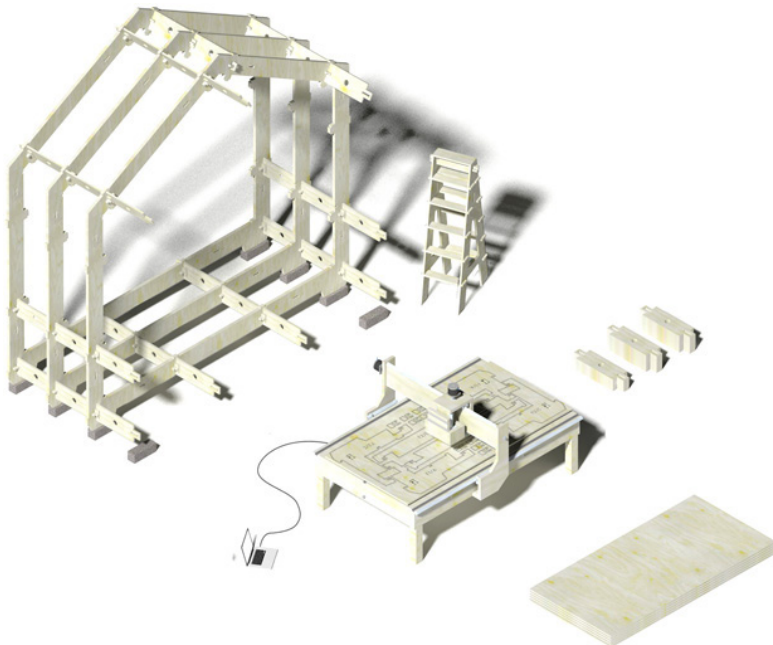
Wikihouse è un sistema costruttivo *open-source*, “è una piattaforma che realizza il prototipo di una realtà di progetto socializzato che contemporaneamente democratizza la produzione”: piante e modelli dell’abitazione sono disponibili online, insieme con le relative varianti e addizioni cui chiunque può aggiungere o sottrarre qualcosa, per progettare, realizzare e montare la propria WikiHouse.

Il sistema costruttivo è la parte fondamentale di questo progetto: tutti gli elementi sono realizzati con una fresa cnc e vengono assemblati senza bisogno di viti e bulloni ma tramite incastri. Questo permette di avere una struttura notevolmente più robusta, ridurre in modo considerevole i tempi di montaggio ed essere smontato e rimontato con facilità anche da due persone.



(Fig. 2.3.1\_5)

Un altro fattore determinante sta nel plug-in open-source per il programma d'architettura gratuito SketchUp, ogni modello tridimensionale che ognuno crea viene trasformato in tavole pronte al taglio con utensili CNC, che possono essere inviate al produttore.

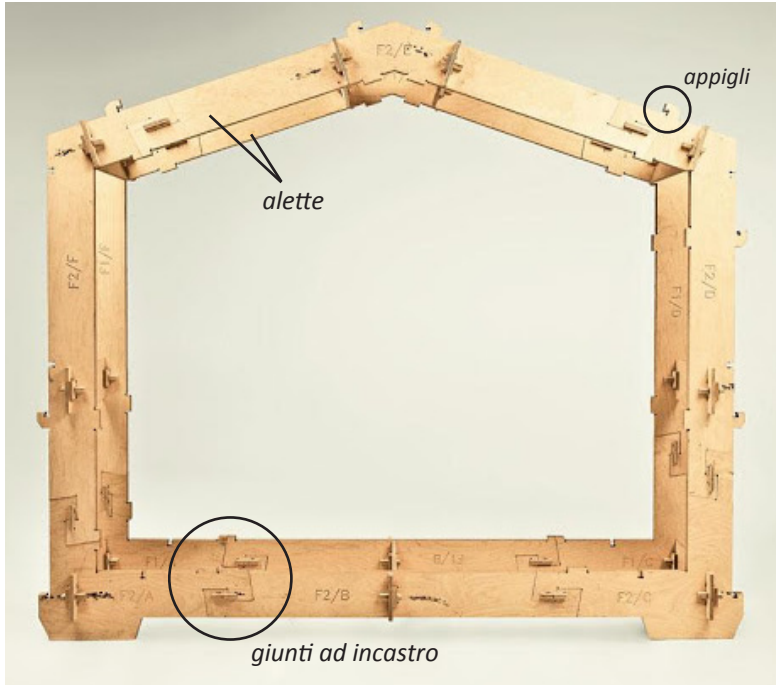


(Fig. 2.3.1\_6)



(Fig. 2.3.1\_7)  
Realizzazione  
pezzi con  
lavorazione  
Fresa CNC

## Sistema costruttivo



(Fig. 2.3.1\_8)

La WikiHouse usa fondamentalmente un unico materiale: il compensato strutturale di 18mm, in fogli di misura standard internazionale di 240 x 120 cm.

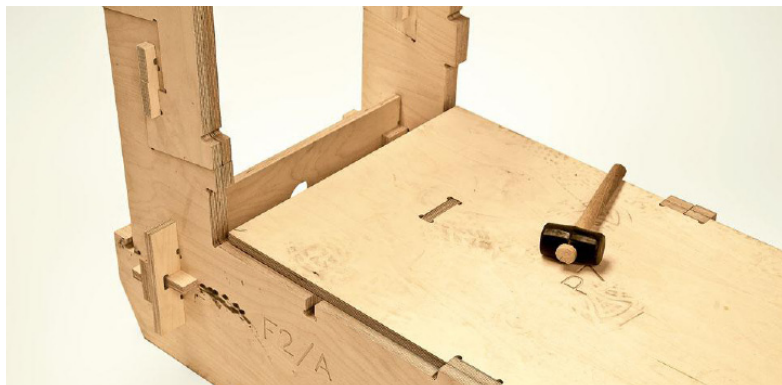
La struttura è composta da una due o più alette, giunti ad incastro e appigli. Ogni aletta è costituita da due strati di compensato di profilo identico, possono variare per dimensione e forma e sono assemblate assieme attraverso dei semplici giunti ad incastro che nn si trovano mai sugli angoli e sono distribuiti e ripetuti su ciascuno strato dell'aletta. Gli appigli, creati sul profilo dell'aletta, invece permettono l'aggancio dei pannelli di rivestimento.



(Fig. 2.3.1\_9) Dettaglio connettori

Ogni nodo ad incastro, posizionato in posizioni strategiche fondamentali su tutta la sezione, viene bloccato sul lato opposto da dei connettori che rendono solida la struttura.

Il passo della griglia può variare in funzione delle differenti tipologie dei moduli costruttivi di ciascun paese e la sua conformazione permette il passaggio degli impianti sia elettrici che sanitari. Sia la modularità che la precisione degli elementi del telaio, garantiscono un ottimale livello di ermeticità ed isolamento e permettono una facile gestione degli elementi aggiuntivi quali rivestimenti, porte e finestre.

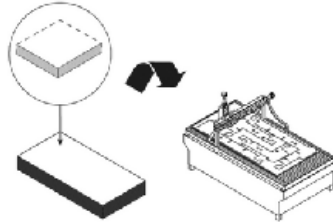


(Fig. 2.3.1\_10) Singolo modulo

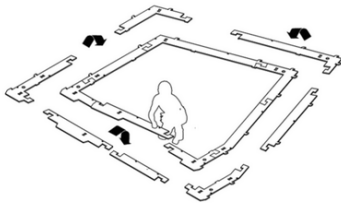
Il sistema in 6 passi:



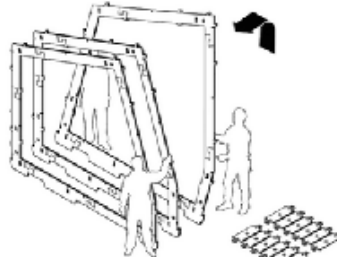
1: Scaricare il progetto e adattarlo alle proprie necessità



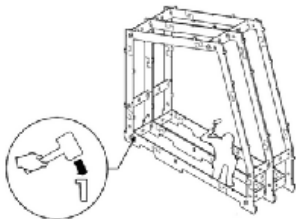
2: Generare il file per essere prodotto da aziende locali



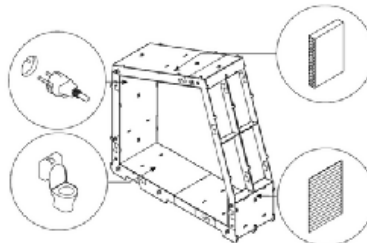
3: Montare assieme le alette con l'aiuto di un volontario



4: Innalzare il telaio strutturale nel luogo scelto



5: Assemblare assieme il telaio tramite connettori ad incastro



6: Ultimare con finiture e impianti

## Wood-Skin

Il progetto nasce dall'esigenza di colmare il divario tra le possibilità che offre la rappresentazione digitale attraverso software CAD e la riproduzione nella realtà.

Wood-Skin è un nuovo materiale composito, resistente e flessibile, che combina la rigidità di un materiale tradizionale come il legno e la flessibilità del tessuto, consentendo così numerose applicazioni sia di elementi architettonici che di arredamento.

La ricerca è stata condotta sul processo di fabbricazione digitale, i progettisti hanno unito la tecnica del *contouring* con quella del *tesselating*: con l'uso di una fresa CNC, che lavora per sottrazione, un pannello bidimensionale viene trasformato nella sua sezione ricreando una serie di elementi triangolari tridimensionali. La superficie così creata, per conformazione simile ad una mesh, riesce a riprodurre forme complesse organiche.



(Fig. 2.3.1\_11)  
Pannello  
Woodskin

## Composizione del materiale

Wood-Skin è composto da due strati rigidi in pannelli di legno e uno strato “legante” in maglia di nylon con resina poliestere.

Lo strato legante permette al pacchetto creato di essere flessibile dopo la lavorazione della fresa sulla sua sezione mantenendo allo stesso tempo inalterate le sue proprietà di resistenza ed estetiche.

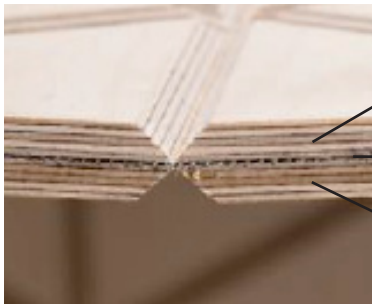
Sezioni proposte: 4+4 mm, 6,5+6,5 mm, 12+12 mm

Misure standard di produzione: 1200 x 1250/2450/ mm

1500 x 1550/2550/3050 mm

2500 x 1250 mm

Peso struttura: per 6,5 +6,5 mm circa 8,9 kg/m<sup>2</sup>



Strato rigido

Strato legante

Strato rigido

(Fig. 2.3.1\_12)



(Fig. 2.3.1\_13)  
Composizione  
del materiale

L'aspetto interessante di Wood-Skin è che con un solo materiale e con l'applicazione di un processo di produzione digitale riesce a tradurre qualsiasi disegno tridimensionale in oggetto fisico.

Questo processo di creazione ha aperto diverse sperimentazioni:

- Variazioni rispetto al pattern utilizzato, da elementi triangolari tutti uguali "regular pattern" a "smart pattern" di superfici freeform con elementi tutti diversi.
- Utilizzo di altri materiali rigidi oltre al legno come l'alluminio, i laminati ad alta pressione, il marmo, la ceramica e pannelli di plastica.
- Diverse applicazioni progettuali.



(Fig. 2.3.1\_14)  
"Reign restaurant" a Dubai:  
Rivestimento interno  
verticale con regular  
pattern



(Fig. 2.3.1\_15)  
"Iuter flagship store" a Milano:  
Realizzazione di arredi interni  
con smart pattern

## 2.3. Architetture contemporanee - 2.3.1. Casi studio: Architetture in legno

Anche se le applicazioni sono state per la maggior parte di rivestimento sia di facciata che dell'intradosso o di arredamento di interni, ci sono stati dei progetti di strutture autoportanti come per l'installazione temporanea, durante il salone del mobile a Rho fiera Milano, per *Material Connexion*.

I progettisti per creare dei piccoli spazi meeting, hanno realizzato una struttura autoportante composta da più superfici *freeform* assemblate assieme da un sistema di alette viti e bulloni facilmente assemblabile e smontabile.



(Fig. 2.3.1\_14,15)

Spazi meeting realizzati con sistema wood-skin in betulla

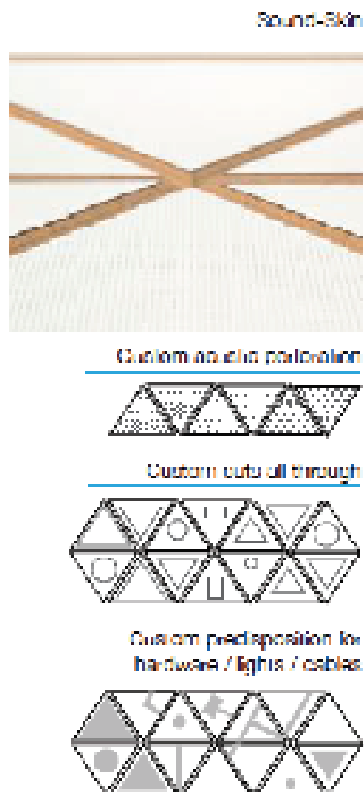


(Fig. 2.3.1\_16)

Sistema di aggancio con alette viti e bulloni

Le potenzialità di questo progetto sono molto alte, certamente la continuità materica e di superficie permette di ridurre drasticamente le strutture di supporto ed in alcuni casi eliminarla completamente con un conseguente risparmio sia economico che di tempistiche di montaggio.

Per le strutture composte da più parti, la scelta di integrare nella superficie il sistema di aggancio è vincente da un punto di vista pratico sia di montaggio che di stoccaggio delle parti della struttura.



(Fig. 2.3.1\_17)  
Sistema Wood-Skin come pannelli di isolamento acustico

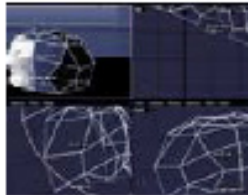
Il sistema in 11 passi:



1. Pannello rigido



2. Trasformazione in materiale composito



1. Creazione modello 3D



4. Realizzazione pattern con fresa CNC



5. Wood-Skin



6. Superficie *freeform*



4. Test



5. Progetto finale



## TERRA E ARGILLA

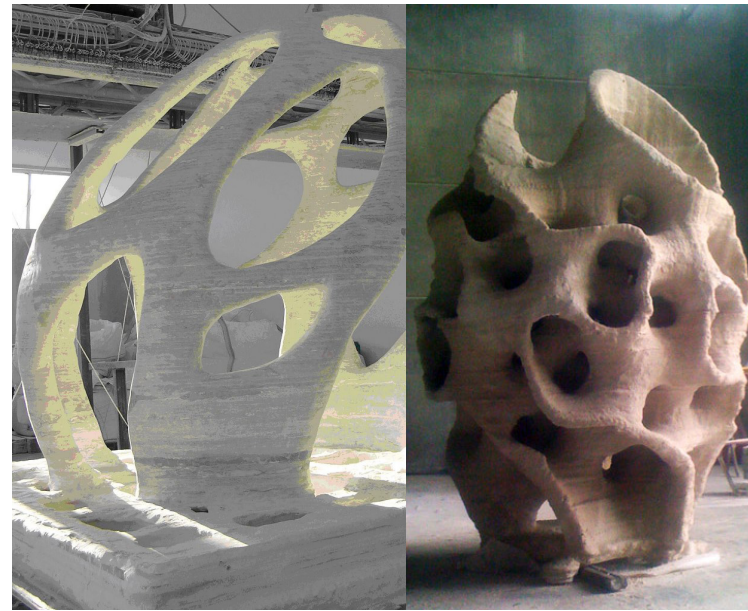
### ***D-Shape, Enrico Dini***

Un processo di stereolitografia che combina sabbia e un legante inorganico che trasforma un materiale granulare in solida roccia. La dimensione della macchina, che è vincolata alla dimensione dell'oggetto, comprende un rigido piano di 6x6 metri che si solleva lungo 4 colonne che possono essere allungate fino a 12 metri di altezza.

<http://www.dinitech.it/>

**Tecniche di fabbricazione:** stereolitografia

**Tooling:** *contouring*



(Fig. 2.3.1\_18)

### ***Building Bytes, Brian Peters***

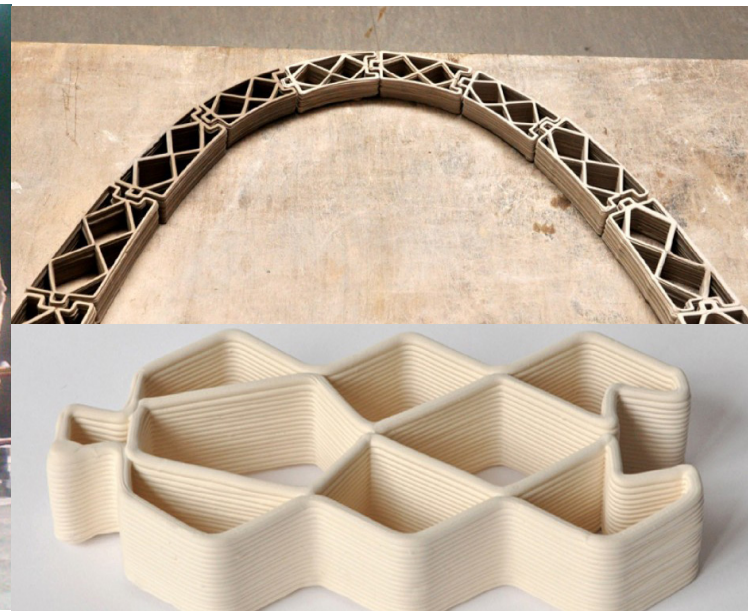
Il materiale utilizzato è la ceramica, viene estrusa a layer fino a creare dei singoli componenti di ridotte dimensioni da poter assemblare successivamente.

Una delle sperimentazioni è "Interlocking Brick" è un' esplorazione nell'uso di mattoni ad incastro in grandi strutture a cupola. Il pattern interno fornisce stabilità, mentre l'esterno può essere lasciato con la struttura a vista o essere rivestito con un altro materiale.

<http://buildingbytes.info/>

**Tecniche di fabbricazione:** *Liquid Deposition Modeling*

**Tooling:** *tessellation, sectioning*



(Fig. 2.3.1\_19)

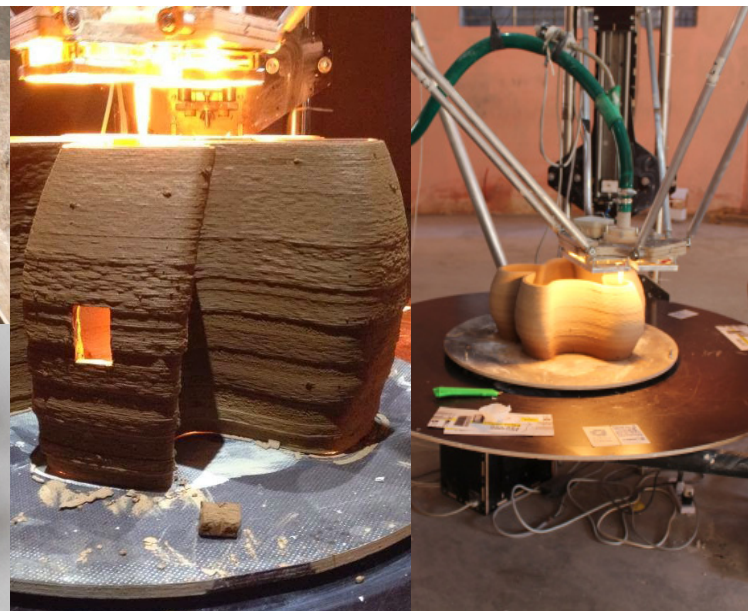
### ***Ddelta, Wasp project***

Stampa in argilla e fibre naturali, la Ddelta ha 3 bracci che si muovono nelle 3 direzioni e un piano fisso. Man mano che la stampa procede, i primi strati si solidificano con aria e calore.

<http://www.wasproject.it>

**Tecniche di fabbricazione:** *Liquid Deposition Modeling*

**Tooling:** *sectioning*



(Fig. 2.3.1\_20)

### ***Contour Crafting, Dr. Behrokh Khoshnevis of the University of Southern California***

La tecnologia Contour Crafting riduce il consumo energetico e le emissioni utilizzando un processo di stampa rapida 3D per fabbricare componenti di grandi dimensioni. Composta da bracci robotici e ugelli di estrusione, la stampante ha un sistema a portale controllato da un computer che muove l'ugello avanti e indietro, depositando strati di calcestruzzo, o altro materiale, per fabbricare una forma.

<http://www.contourcrafting.org/>

**Tecniche di fabbricazione:** *Liquid Deposition Modeling*

**Tooling:** *sectioning*



(Fig. 2.3.1\_21)



## ***D-Shape, Enrico Dini***

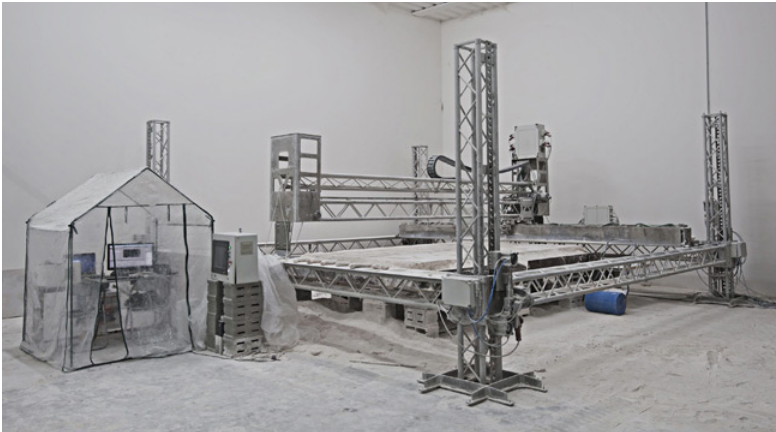
D-Shape è una stampante tridimensionale a grande scala, sviluppata nel 2004 dall'ingegnere italiano Enrico Dini, che consente di realizzare su un sistema basato sul principio della stereolitografia- strutture portanti complesse freeform di qualsiasi dimensione.

### **Sistema costruttivo**

Questa tecnica utilizza semplice sabbia e uno speciale "inchiostro": un bi-componente inorganico ed ecocompatibile, che trasforma la sabbia o un materiale granulare alternativo, in solida roccia.

L'apparecchiatura consiste in un telaio in alluminio e un piano di 6x6 metri sollevabile grazie a dispositivi che si muovono lungo le quattro colonne portanti, sul quale si muove la testa di stampa, dotata di 300 ugelli, che rilasciano l'inchiostro strutturale.

Il tutto viene pilotato da un sistema cad-cam che consente di realizzare il progetto al vero, con estrema precisione.



(Fig. 2.3.1\_22) Struttura della stampante SLA

Come per le stampanti 3D desktop, un file STL è trasferito al computer che gestisce la macchina che permette l'inizio del processo di lavorazione in layer. La macchina deposita per layer uno spessore di 5-10mm di sabbia, alternando la fuoriuscita - mediante spruzzatura - del componente liquido che si infila nel materiale granulare formando una massa omogenea simile a una roccia per durabilità e resistenza.



(Fig. 2.3.1\_23) Testa di stampa a 300 ugelli



(Fig. 2.3.1\_24) Processo di SLA

Questa stampante è pensata per stampare direttamente in loco edifici interi fino a 12 metri di altezza, oppure operare in officina per produrre grandi componenti da assemblare in cantiere.

L'innovazione di D-Shape è nella creazione di uno specifico materiale adatto alle esigenze della stampa su larga scala e alle applicazioni nel settore delle costruzioni. Inoltre la possibilità di stampare strutture free-form in un materiale simile alla pietra, permette di realizzare elementi che si inseriscono perfettamente nell'ambiente naturale con un impatto visivo pari allo zero; in aggiunta la possibilità di usare, come materiale di base, sabbie locali rende D-shape una tecnologia particolarmente attenta alla sostenibilità di un'economia delle costruzioni a chilometro zero.

2.3. Architetture contemporanee - 2.3.1. Casi studio: Architetture in terra e argilla



(Fig. 2.3.1\_25)

*“Radiolaria”*: una complessa struttura freeform 3x3x3 metri progettata da Andrea Morgante e realizzata da D-shape, rappresenta un modello in scala del padiglione finale alto 10 metri costruito a Pontedera



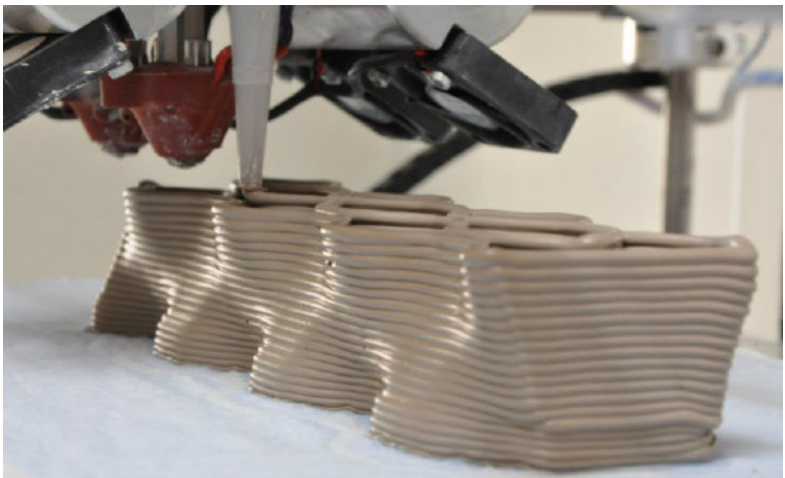
(Fig. 2.3.1\_26)

Progetto di Arch. Marco Ferreri *“Una Casa Tutta Di Un Pezzo”* in mostra in triennale a Milano costruita in un’unica stampata durata circa 14 giorni utilizzando 35mc di sabbia

## *Building bytes*

Building bytes è un progetto di Brian Peters, combina un materiale da costruzione tradizionale come la ceramica con una tecnica di fabbricazione digitale additivata per ripensare un componente antico presente in ogni edificio: il mattone.

Piuttosto che realizzare una stampante di grandi dimensioni per costruire un'abitazione, questo progetto utilizza una stampante Fused Deposition Modeling (FDM) desktop standard, una tecnologia oramai a disposizione di tutti i progettisti del mondo, per fabbricare mattoni per l'architettura. La stampante 3D desktop comunemente ha come piatto di stampa, una dimensione utile di 20x20x20 cm; questo non viene considerato come un limite progettuale ma piuttosto come un parametro primario da considerare per il prodotto finale. Questa tecnica permette di fabbricare ogni mattone singolarmente consentendo ai progettisti di realizzare forme complesse all'interno del quale ogni mattone può essere unico: ancora una volta questo progetto si presenta come un ponte diretto tra la progettazione tridimensionale e la fabbricazione.



(Fig. 2.3.1\_27)

L'utilizzo di un materiale ceramico presuppone la modifica di alcune configurazioni della stampante 3D. Il sistema di estrusione dei filamenti in plastica, chiamato anche testa di stampa dovrà essere sostituito con un estrusore, adatto a qualsiasi materiale liquido come argilla o cemento, che lavora a pressione d'aria. Questo sistema inoltre, consente ai progettisti e ai costruttori di procurarsi i materiali di costruzione localmente.

Ogni mattone è stato realizzato con software parametrici come il plugin Grassopper per Rhinoceros, una definizione di algoritmo è usata per descrivere in generale la superficie muraria, mentre ogni singolo mattone è ottenuto dalla variazione di ogni singolo parametro; può essere progettato per avere superfici esterne complesse (con relativi incastri maschio-femmina), una struttura interna che riduca significativamente il peso o aumenti la resistenza nei punti di stress. Lo script finale di Grassopper può essere poi convertito direttamente in G-code e comunicare direttamente con la stampante 3D. Grazie al vantaggio del software parametrico, le informazioni di ogni singolo mattone posso essere stimati, come per esempio il tempo di stampa e la quantità di materiale.

La realizzazione è in 3 step: stampa 3d di ogni singolo mattone per un tempo di 15-20 minuti ognuno, l'essiccazione per 24 ore e infine la cottura nelle fornaci a una temperatura di 1100 °C per dodici ore.

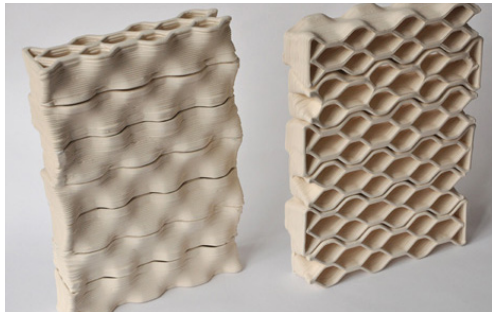
La difficoltà primaria di questo progetto è la viscosità, il mattone tende a collapsare durante il processo di stampa poiché il materiale utilizzato per i prototipi è instabile. Per questo motivo il progettista nelle diverse tipologie di mattone proposte ha cercato di lavorare sulla superficie esterna non regolare e su una trama interna sempre diversa.

## Sistema costruttivo

Le potenzialità di questo progetto è applicata a partizioni interne, componenti di facciata o elementi strutturali. Brian Peters realizza quattro diverse tipologie compositive per testare la potenzialità di questo sistema di fabbricazione e le sue applicazioni in scala reale:

1. Honeycomb Brick
2. Interlocking Brick
3. Ribbed Brick
4. X-Brick

(Fig. 2.3.1\_28)



1. Honeycom Brick sono modulari, come i classici mattoni, ma con la possibilità di essere combinati in differenti modi e orientamenti.

Dimensioni: 5 x 20 x 4 cm

2. Interlocking Brick, invece, sono caratterizzati da una trama interna e un giunto ad incastro che garantisce stabilità e permette di assemblare diversi componenti, con la strategia del *tessellating*, fino a creare una struttura più complessa come una abitazione a cupola.



(Fig. 2.3.1\_29,30,31)

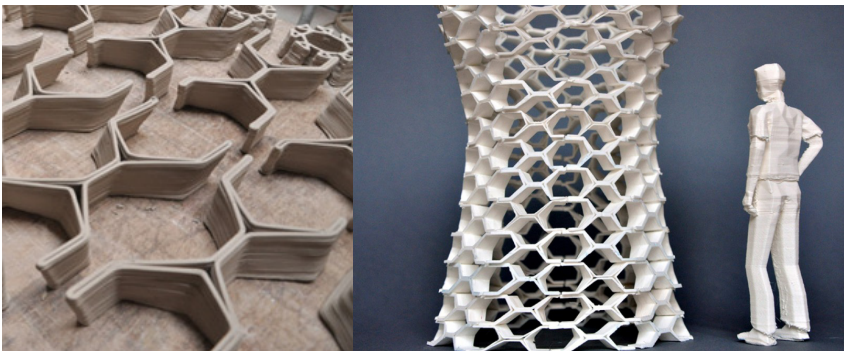


3. Ribbed Bricks sono concepiti per realizzare colonne: infatti sono disposti in una sequenza verticale con la strategia del *sectioning*. Ogni mattone realizzato è unico ed è caratterizzato da una superficie esterna che è sia ornamentale che portante.



(Fig. 2.3.1\_32,33)

4. X-Brick è progettato per massimizzare la trasparenza di una superficie verticale e il tempo di stampa di ogni singolo mattone. La struttura realizzata con la strategia del *tessellating*, utilizza moduli di mattoni modulari per ogni strato.



(Fig. 2.3.1\_34,35)

## ***Ddelta, Wasp project***

Il progetto Wasp (World's Advanced Saving Project) nasce nel 2013 con l'obiettivo di ricerca di costruire una stampante 3D in grado di realizzare case con materiali reperiti sul territorio, con un costo tendente a zero.



(Fig. 2.3.1\_36)

Il progetto WASP, in particolare, nasce secondo un'idea di mimetismo: copia la vespa vasaio - o vespa muratore - che si costruisce il nido in proporzioni molto precise, con fango e terra.

Le case in terra sono costruzioni che hanno un forte legame con il territorio, poiché viene solitamente utilizzata materia prima locale. L'argilla è un materiale che richiede poca energia e processi di lavorazione piuttosto semplici, oltre a essere naturale, resistente al tempo e al fuoco, atossica e salubre per i minerali che la compongono e che migliorano inoltre la qualità dell'aria. Non viene attaccata dai parassiti, assorbe calore e umidità che rilascia gradualmente all'occorrenza e garantisce anche isolamento acustico.



(Fig. 2.3.1\_37,38)

*Protoripio di Dome realizzato in terra cruda*



## Sistema costruttivo

Per raggiungere questo obiettivo è stata realizzata una stampante *Liquid Deposition Modeling* che prende il nome di BigDelta. La prima stampante è stata realizzata nel 2012 e nel corso di questi anni ha subito varie evoluzioni di fino alla recente realizzazione della BigDelta alta 12 metri in grado di stampare modelli abitativi in scala reale.

La caratteristica principale della stampante è nei tre bracci che muovono l'estrusore: permettono la movimentazione nelle tre direzioni - X,Y e Z - con estrema agilità essendo liberi da binari e strutture, consentendo anche bassi consumi energetici soprattutto sulle grandi dimensioni.

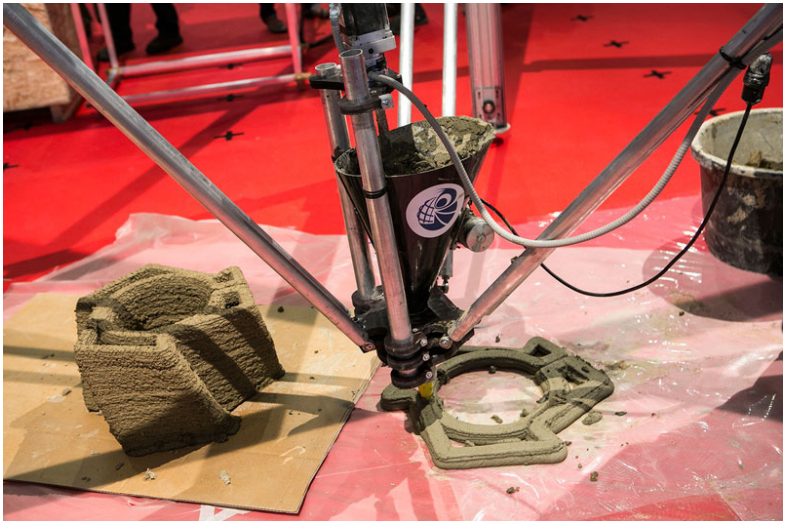


(Fig. 2.3.1\_39,40)  
Stampante BigDelta realizzata nel 2015

Le stampanti a portale come quelle realizzate in Cina e negli Stati Uniti muovono invece pesi che arrivano a dieci o addirittura quindici quintali quando sono in funzione. I bracci della BigDelta trasportano all'incirca 70 kg, per un consumo ridotto a meno di un decimo rispetto alle stampanti a portale ed equivalente a circa 300 watt, perfettamente gestibile quindi

con una batteria e pochi metri quadri di pannelli solari. Inoltre la BigDelta è stata progettata per essere totalmente sostenibile, oltre a estrarre materiale a km zero, ed essere alimentata da pannelli solari; può essere trasportabile e assemblabile facilmente: a tre persone occorrono circa due ore per montarla.

Un altro elemento importante di innovazione è nell'estrusore. Invece di usare un estrusore a pompa peristaltica, la BigDelta monta un estrusore con ugello rotante a clovea. In questo modo è possibile un continuo controllo dei flussi di materiale, interrompere e riprendere l'erogazione in modo preciso. L'argilla non viene più incanalata forzatamente nei tubi ma viene lasciata cadere controllata da una vite, ciò permette un grosso risparmio di energia.

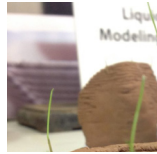


(Fig. 2.3.1\_41)  
Estrusore con  
ugello a clovea

Questo cambiamento ha permesso al gruppo Wasp di sperimentare diversi materiali e impasti con percentuale maggiore di fibre come l'inserimento di alcune graminacee all'interno dell'impasto da stampare per impedire che l'argilla si ritiri seccandosi. Il progetto prevede che i semi

## 2.3. Architetture contemporanee - 2.3.1. Casi studio: Architetture in terra e argilla

delle piante assorbano l'umidità dell'argilla fino a svilupparsi e crescere, così che le loro radici costituiscano una sorta di armatura interna, completamente naturale. lo scopo delle radici è infatti contribuire a formare un'armatura che fissa il materiale in maniera permanente e gli consente di seccarsi senza variare eccessivamente le proprie dimensioni.



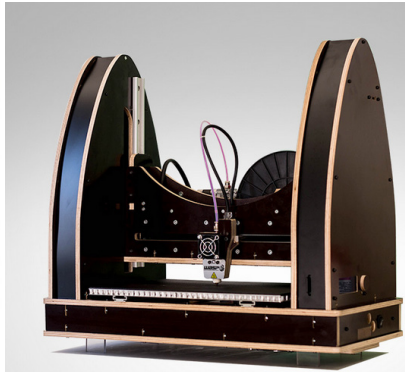
(Fig. 2.3.1\_42)

*Inserimento di graminacee nell'impasto*



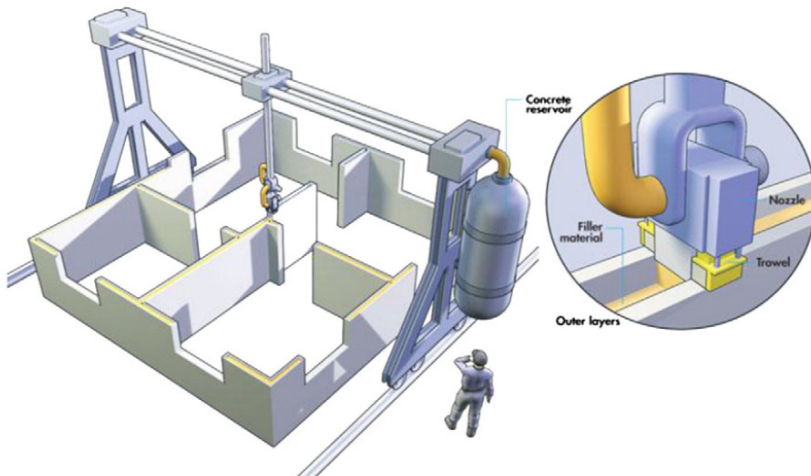
(Fig. 2.3.1\_43)

*Stampante Delta 60-100 e Delta wasp Evo*



## Contour Crafting, Dr. Behrokh Khoshnevis

Contour Crafting è progetto sperimentale sviluppato dal dott. Behrokh Khoshnevis, direttore del dipartimento Rapid Automated Fabrication Technologies (CRAFT) dell'università del sud della California (USC) in Los Angeles.



(Fig. 2.3.1\_44)

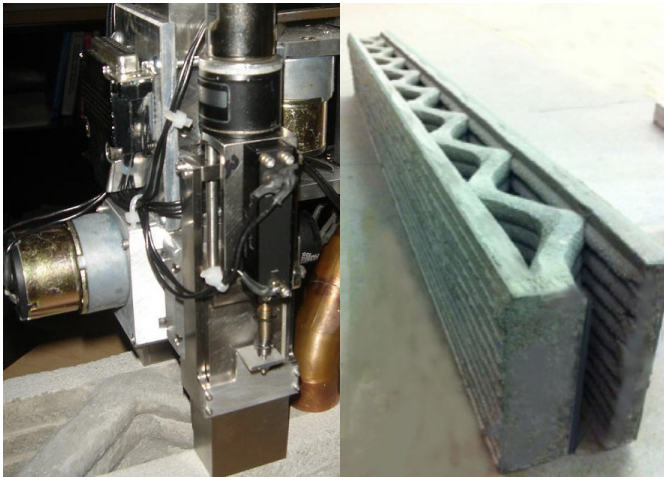
Questa tecnologia è definita una tecnica di fabbricazione automatizzata ibrida poiché combina un processo ad estrusione che definisce la superficie esterna dell'oggetto –in questo caso le pareti murarie- ed un processo ad iniezione per il riempimento. Questo progetto rappresenta il primo passo riguardo il tentativo di trasferire la tecnologia della prototipazione rapida al settore delle costruzioni (R.Naboni,2015), realizzando una stampante in grado di costruire una struttura direttamente in loco.

### Sistema costruttivo

La testa di estrusione utilizzata per creare gli elementi strutturali ha più ugelli -uno per lato e uno interno per il riempimento- equipaggiati di un

sistema a spatola che permette, una volta estruso il materiale, di rendere la superficie liscia. L'ugello inoltre può ruotare per creare superfici non ortogonali come cupole e volte.

L'ugello si muove lungo una grande struttura a ponte, di dimensioni utili alla costruzione di un'intera casa, che può essere assemblata, smontata e trasportata rapidamente da un team ridotto. Un altro grande vantaggio è la possibilità di depositare per ogni layer uno strato spesso di materiale che riduce drasticamente il tempo di fabbricazione, una caratteristica essenziale per la tecnica additiva in larga scala: infatti questa tecnologia permette di fabbricare un'intera casa in un giorno.



(Fig. 2.3.1\_45,46) Testa d'estrusione con ugello con sistema a spatola e realizzazione di una struttura in cemento

Il sistema automatizzato riduce la manodopera e permette maggior controllo sulle quantità di materiale utilizzato, riducendo i costi di costruzione. Inoltre le strutture create con questa tecnica sono autoportanti e non necessitano quindi di ulteriori strutture di supporto grazie al tempo di indurimento rapido controllato da additivi chimici.



## TESSILE

### *Casa del libro, Marcelo Dantas e Olga Sanina*

Questo padiglione progettato per la fiera del libro a Madrid è costituito da una sequenza di layer verticali in tessuto.

Ogni strato è sagomato in modo da formare all'interno del volume parallelepipedo una cavità organica. Questa sequenza di schermi produce un padiglione dinamico: la luce gioca tra opacità e trasparenza, la regolarità esterna contrasta con il piccolo spazio interno, l'auditorium, dove la vita è fluida e continua.

[www.abarrigadeumarquitecto.blogspot.it/2008/11/olga-sanina-marcelo-dantas-pavilho-da.html](http://www.abarrigadeumarquitecto.blogspot.it/2008/11/olga-sanina-marcelo-dantas-pavilho-da.html)

**Tecniche di fabbricazione:** taglio laser, lama fissa

**Tooling:** sectioning

(Fig. 2.3.1\_47)



### *Cutty Sark Pavilion, Bakoko*

Padiglione espositivo temporaneo, è stato progettato utilizzando software di generazione parametrica.

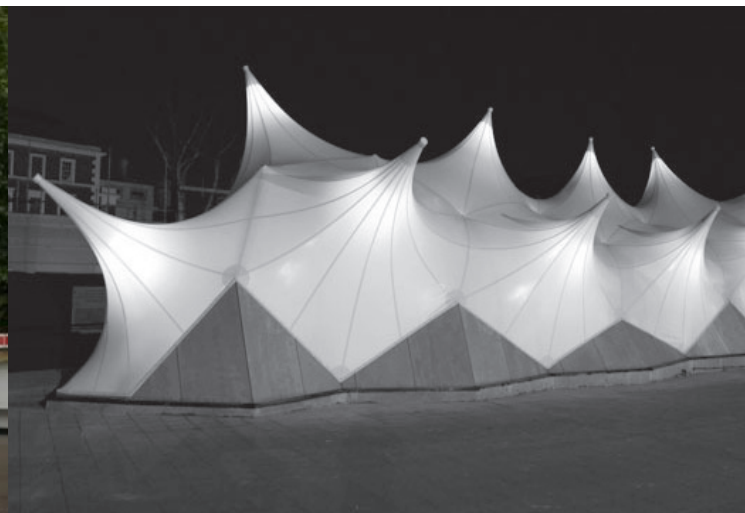
Una rete complessa tensione di cavi e piloni di acciaio danno rigidità alla struttura di sostegno in legno, il rivestimento in tessuto PVC è formato da diverse sagome generate dal modello tridimensionale e tagliate con macchine a controllo numerico.

[www.bakoko.jp](http://www.bakoko.jp)

**Tecniche di fabbricazione:** taglio laser, lama fissa

**Tooling:** tessellation

(Fig. 2.3.1\_48)



### *Self-Assembly, MIT*

Sfruttando le proprietà elastiche del tessuto e la tecnologia di stampa FDM, il MIT ha avviato una ricerca sperimentale sulla possibilità di creare strutture che si auto assemblano. Il tessuto dopo essere stato pre-tensionato, viene impregnato -lungo un disegno predefinito- dal materiale plastico estruso: "liberato" il disegno originato, il tessuto rinasce in una nuova forma.

[www.selfassemblylab.net/ProgrammableMaterials.php](http://www.selfassemblylab.net/ProgrammableMaterials.php)

**Tecniche di fabbricazione:** lama fissa, FDM

**Tooling:** folding

(Fig. 2.3.1\_49)



### *Tensioned Relaxations, SDA*

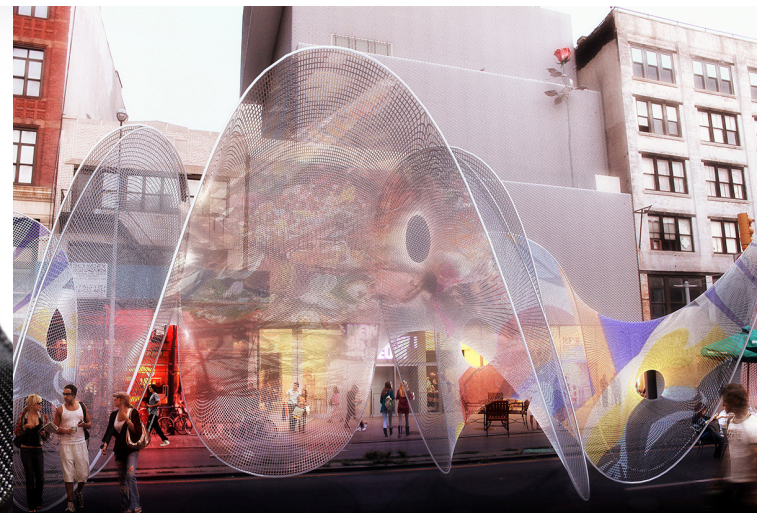
Utilizza un anello perimetrale in tubi in acciaio curvati sezionati da una CNC e un tessuto elastico per generare una free form. L'intero sistema crea un equilibrio di forze che determina la sua geometria: Il tessuto tensionato dalla struttura tende a verso l'interno mentre la struttura verso l'esterno creando così una forma dinamica.

[www.synthesis-dna.com](http://www.synthesis-dna.com)

**Tecniche di fabbricazione:** taglio laser, lama fissa

**Tooling:** folding

(Fig. 2.3.1\_50)





## *Casa del libro, Marcelo Dantas e Olga Sanina*

Vincitori del concorso internazionale indetto per la fiera del libro di Madrid, i progettisti Olga Sanina e Marcelo Dantas e l'architetto giapponese Ryuji Nakamura hanno realizzato un padiglione interamente in tessuto che ricorda le pagine di un libro.



(Fig. 2.3.1\_51)

L'ispirazione nasce dal lavoro dell'artista Noriko Ambe. Alcune delle sue creazioni hanno come protagonista il libro, esso viene manipolato come un oggetto alla ricerca di nuove relazioni di spazio, di scala, di ritmo e di consistenza. Da questo approccio, i progettisti hanno cercato di lavorare sull'intero volume con le luci e le ombre che vengono filtrate l'una e proiettate l'altra sempre in modo diverso grazie al vento che muovono le superfici piatte del tessuto.

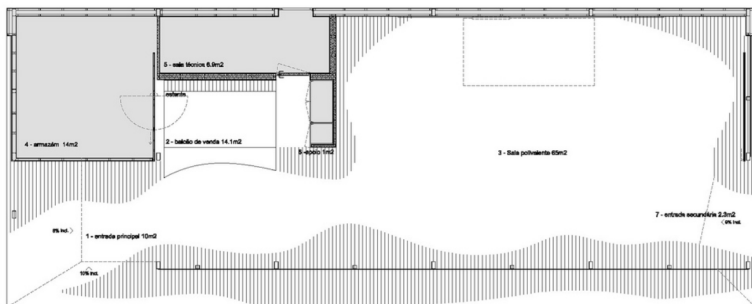
I progettisti hanno adottato il processo di sectioning per suddividere in layer verticali il volume tridimensionale. Ogni layer rappresenta un foglio di tessuto, ogni foglio è stato sagomato mediante una lavorazione a

controllo numerico della forma desiderata. Una volta completata questo processo, i vari layer sono stati affiancati e lasciati “appesi “ sulla struttura portante a pettine.

La sequenza di piani origina un volume dinamico, che gioca tra opacità e trasparenza. La regolarità esterna del parallelepipedo contrasta con la natura del piccolo auditorium all’interno, che si presenta come una “cavità organica topografica” dove la vita appare fluida e continua.



(Fig. 2.3.1\_52,53)  
Layer in tessuto



(Fig. 2.3.1\_54)  
Planta del padiglione

## *Cutty Sark Pavilion , Bakoko*

Cutty Shark è un padiglione temporaneo progettato dallo studio di architetti Youmeheshe, ed è stato realizzato per accogliere una mostra dedicata alla storica nave “Cutty Shark”. L’obiettivo di questo progetto è quello di realizzare per il visitatore un’esperienza suggestiva, quella di camminare tra le vele e gli alberi di questo maestoso veliero: il padiglione infatti è composto da una struttura in legno e cavi in acciaio, ed un rivestimento in tessuto.



(Fig. 2.3.1\_55)

Oltre a poter essere smontato e rimontato altrove, questo progetto doveva rispettare un budget limitato e tempi di realizzazione molto stretti. Per la realizzazione è stato utilizzato un software di progettazione parametrico che ha permesso al team di ingegneri e di architetti di avere un alto livello di controllo sui componenti del progetto come la struttura in legno e la superficie in tessuto; questo si è rivelato essenziale per ottimizzare la produzione e quindi i costi di realizzazione.

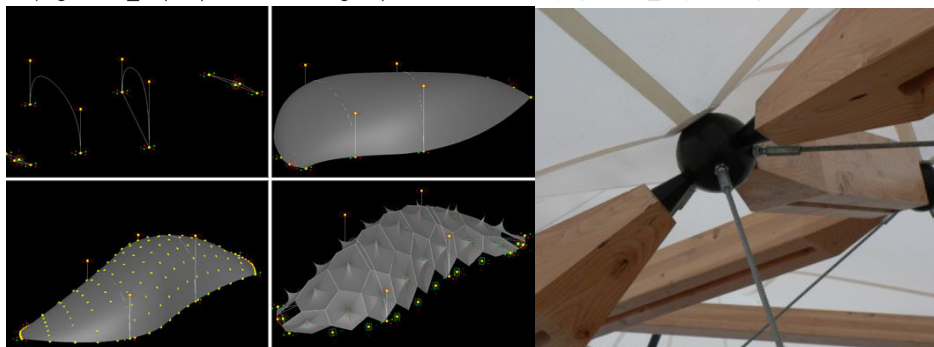


(Fig. 2.3.1\_56)  
Struttura  
interna

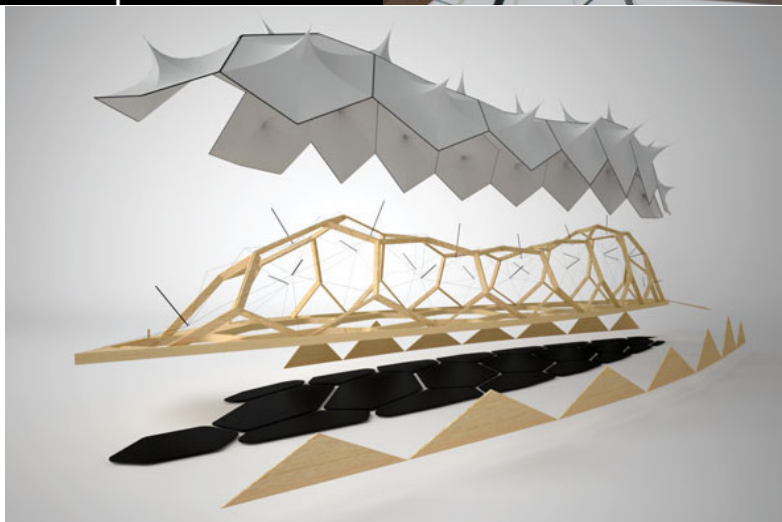
Il padiglione ha una dimensione di 300 mq e un'altezza massima di 8m. La pelle di rivestimento è in tessuto PVC, ed è supportata da una struttura portante interna a telaio con una maglia tridimensionale esagonale collegata da nodi sferici in acciaio che permettono una maggiore flessibilità di collegamento per una maglia non regolare; ed è tensionata tramite pilastri tenuti sospesi da cavi radiali anch'essi connessi al telaio portante.

(Fig. 2.3.1\_57) Sequenze del disegno parametrico

(Fig. 2.3.1\_58) Nodo sferico in acciaio



(Fig. 2.3.1\_59)  
Esplosione del modello tridimensionale



Sia la struttura portante che il tessuto sono composti da elementi non regolari, ogni elemento è unico e progettato a misura tramite software parametrici che hanno permesso di elaborare singolarmente ogni pezzo e produrlo tramite tecnologia CNC. Per realizzare l'intero rivestimento esterno è stato utilizzato il processo di Tellation: il tessuto è stato suddiviso in più parti e poi ricucito insieme per realizzare la superficie free form richiesta. La superficie è organizzata in una maglia esagonale: ogni esagono -diverso per dimensione- è stato suddiviso in "spicchi", due per lato, in base alla curvatura della geometria progettata.



*(Fig. 2.3.1\_60)  
Montaggio  
della copertura  
in tessuto*



*(Fig. 2.3.1\_61)  
Dettaglio della  
copertura in  
tessuto*

## *Self-Assembly , MIT*

La ricerca del laboratorio Self-Assembly del MIT (Massachusetts Institute of Technology) nel 2014 ha elaborato una serie di sperimentazioni sui materiali per renderli programmabili, essi sono costituiti da materiali compositi progettati per diventare altamente dinamici nella forma e nella funzione. Una di queste sperimentazioni utilizza il tessuto e la stampa tridimensionale a FDM.

Questa esigenza nasce dall'uso pratico di una stampante 3D, adatta generalmente a costruire prototipi di progetti con tirature limitate di prodotti, questo per il tempo di realizzazione molto lungo per oggetti di medie e grandi dimensioni. Il loro studio quindi è finalizzato a sfruttare a pieno il potenziale di questo strumento. Grazie all'aiuto di nuovi software di simulazione di ottimizzazione elaborati dalla società Autodesk e Stratasys, sono riusciti a progettare e produrre forme programmabili.

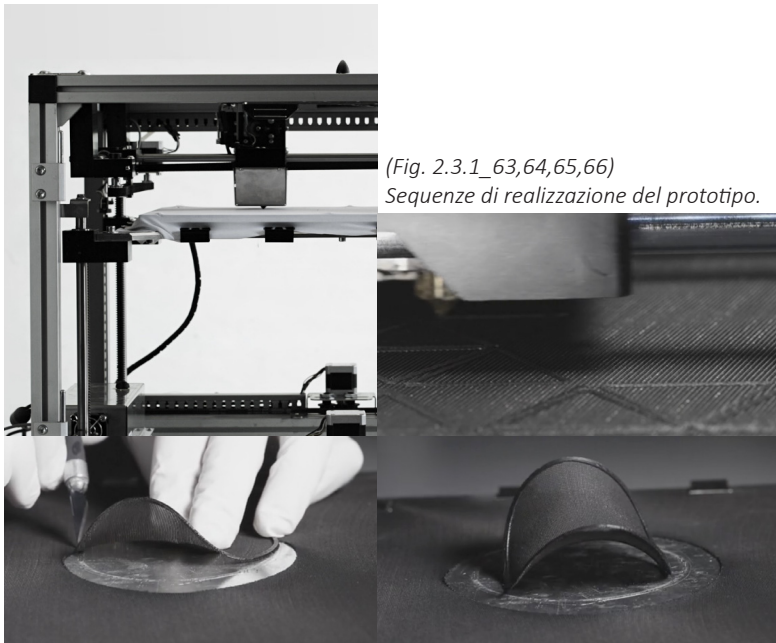


*(Fig. 2.3.1\_62)  
Prototipo  
in tessuto e  
stampa 3D*

Per le sue proprietà elastiche e di malleabilità, i tessuti sono stati utilizzati per secoli in architettura e nell'arredamento; sebbene qualsiasi struttura in tessuto abbia bisogno di telai rigidi di sostegno, o di cavi e tiranti che permettano di mantenere in posizione la tela.

La ricerca del MIT, invece propone un nuovo processo di realizzazione: viene estruso del materiale plastico in vari spessori lungo un disegno predefinito sul tessuto pre-tensionato. Terminato il processo di stampa, il tessuto viene lasciato libero di ritornare alla propria dimensione originaria; questa operazione però viene intralciata dalla geometria estrusa –che ha possiede una spinta verso l'esterno– che obbliga il tessuto ad acquisire autonomamente una nuova forma.

Questo processo viene definito dal centro di ricerca "stampa 4D", dove la quarta dimensione è il tempo necessario per i dispositivi di auto-assemblarsi.



## Tensioned Relaxations, SDA

Proposta per la StreetFest della città di New York nel 2013, Tensioned Relaxations è un padiglione temporaneo che prende spunto dal lavoro sulle membrane tese di Frei Otto, e rielabora un tessuto HDPE -tensionato da un anello perimetrale in fibra di vetro- per creare una forma dinamica a configurazioni variabili.



(Fig. 2.3.1\_67)  
Render di  
progetto

(Fig. 2.3.1\_68)  
Prototipi  
realizzati in  
tessuto di  
nylon e cavo in  
metallo.



Il modulo è stato sviluppato attraverso un processo parallelo di progettazione empirica e parametrica di *form finding*, che permette di verificare i comportamenti del materiale in relazione a influenze esterne date dalla struttura ad anello. Il tessuto si deforma in relazione al telaio strutturale creando un equilibrio tra forza e forma: mentre il tessuto teso tende a una spinta verso l'interno, la struttura esercita una spinta verso l'esterno.

Questo sistema permette di avere un sistema leggero, semplice e facile da montare e smontare, ed essere quindi riutilizzato nel successivo evento. Inoltre il tessuto in HDPE – polietilene ad alta intensità- è un materiale ecologico e riciclabile, ed insieme al telaio smontabile possono essere trasportati in un imballaggio ridotto.

Stessa idea è stata adottata per il concorso internazionale – di cui lo studio di progettazione SDA è stato il vincitore - indetto dalla società Volvo per un padiglione temporaneo che possa accompagnare nell'esposizione in fiera la nuova produzione di auto elettriche V60.



(Fig. 2.3.1\_69)  
Struttura  
realizzata per  
Volvo

L'intera struttura- che può essere riposta in un medio borsone- è implementata da 252 pannelli fotovoltaici flessibili integrati nella membrana che possono essere usati per ricaricare la macchina stessa. Gli stessi pannelli sono organizzati lungo un pattern che ottimizza la loro esposizione al sole, basata sull'esposizione media annua in ogni località italiana. Il telaio in alluminio è definito da un sistema di tubi curvati, realizzati

in 24 sezioni da una macchina a controllo numerico; questo permette all'intera struttura di essere eretta e smontata da due o tre persone in meno di un'ora.



(Fig. 2.3.1\_70) Rivestimento in tessuto senza telaio



(Fig. 2.3.1\_71) Telaio in alluminio sezionato in 24 pezzi



(Fig. 2.3.1\_72)

## Bibliografia e sitografia

### Casi studio: Architettura in legno

#### **Wikihouse:**

ROBERTO NABONI ED INGRID PAOLETTI, *Advanced Customization in Architectural design and Construction*, Milano, Politecnico di Milano ed Springer, 2015

Domus n° 959, giugno 2012 pag. 71-75

Architecture d'aujourd'hui n°383 pag. 158-164

[www.wikihouse.cc](http://www.wikihouse.cc)

#### **Wood-skin:**

Domus n°965, gen 2013 pag. 108-109

[www.biesse.com](http://www.biesse.com)

[www.wood-skin.com](http://www.wood-skin.com)

### Casi studio: Architettura in terra e argilla

#### **D-Shape, Enrico Dini**

NICK DUNN, *Digital fabrication in architecture*, London, Laurence King Publishing, 2012

Costruire n°331, 2010 pag. 90

[www.dinitech.it](http://www.dinitech.it)

[www.d-shape.com](http://www.d-shape.com)

#### **Building Bytes, Brian Peters**

ROBERTO NABONI ED INGRID PAOLETTI, *Advanced Customization in Architectural design and Construction*, Milano, Politecnico di Milano ed Springer, 2015

Detail n°6, 2013 pag. 720-721

[www.designlabworkshop.com/works/building-bytes](http://www.designlabworkshop.com/works/building-bytes)

[www.buildingbytes.info](http://www.buildingbytes.info)

#### **D-Delta, Wasp project**

[www.wasproject.it](http://www.wasproject.it)

[www.centrosviluppoprogetti.it/wasp-project](http://www.centrosviluppoprogetti.it/wasp-project)

**Contour Crafting, Dr. Behrokh Khoshnevis of the University of Southern California:**

Automation in Construction 29 (2013) 50–67

[www.contourcrafting.org](http://www.contourcrafting.org)

**Casi studio: Architettura in tessuto**

**Casa del libro, Marcelo Dantas e Olga Sanina:**

[www.arcstreet.com/article-madrid-book-fair-pavilion-by-olga-sanina-marcelo-dantas-aurora-by-ryuji-nakamura-110934420.html](http://www.arcstreet.com/article-madrid-book-fair-pavilion-by-olga-sanina-marcelo-dantas-aurora-by-ryuji-nakamura-110934420.html)

**Cutty Shark Pavilion , Bakoko:**

[www.bakoko.jp](http://www.bakoko.jp)

[www.nzwood.co.nz/case-studies/cutty-sark-pavilion/](http://www.nzwood.co.nz/case-studies/cutty-sark-pavilion/)

**Self-Assembly, MIT:**

[www.christopheguberan.ch/Stretching-fabric](http://www.christopheguberan.ch/Stretching-fabric)

[news.mit.edu/2014/3-d-printed-materials-curve-stretch-1218](http://news.mit.edu/2014/3-d-printed-materials-curve-stretch-1218)

[www.selfassemblylab.net/ProgrammableMaterials](http://www.selfassemblylab.net/ProgrammableMaterials)

**Tensioned Relaxations, SDA:**

[www.synthesis-dna.com/projects/tensioned-relaxations](http://www.synthesis-dna.com/projects/tensioned-relaxations)

[www.dezeen.com/2013/11/14/volvo-pure-tension-pavilion-charges-an-electric-car-by-synthesis-design-architecture/](http://www.dezeen.com/2013/11/14/volvo-pure-tension-pavilion-charges-an-electric-car-by-synthesis-design-architecture/)





### 3. CNC DA TAGLIO/STAMPA 2D

Prendendo in considerazione le diverse strategie tramite le quali è possibile elaborare un progetto, relazionandole alle suddette tecnologie digitali e contemporaneamente ai materiali di costruzione facilmente reperibili sul luogo dell'emergenza (legno, tessuti o pellami, terra), si è giunti alla conclusione che in situazioni d'emergenza i tempi stretti non consentono ancora la fabbricazione integrale del modulo abitativo direttamente in loco –sebbene alcune ricerche si stiano muovendo in tale direzione, come per il progetto Wasp–; ciò che sarebbe possibile fare è allora intervenire sul materiale distribuito dalle associazioni umanitarie, ossia principalmente il tessile.

Grazie alle tipiche caratteristiche di leggerezza e versatilità il tessile ha infatti in sé la possibilità di essere riconfigurato in nuove forme, sempre diverse in base all'esigenza e alle tradizioni abitative locali.

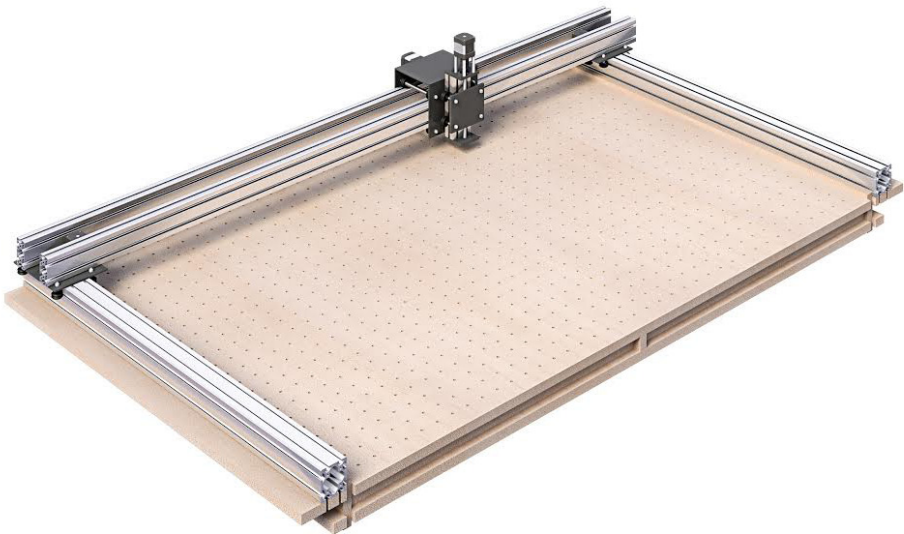
Per permettere la riuscita di questo progetto si è pensato di realizzare una macchina da taglio a controllo numerico che, insieme a un kit di montaggio, possa essere riproposta tutte le volte in cui sia richiesta una tempestiva ricostruzione di alloggi, ed inaugurare quindi la possibilità di generare profitti per le comunità, contribuendo così anche all'incremento e alla valorizzazione dell'economia locale.

La ricerca si è inoltre spostata verso un ambito di ricerca sperimentale già promossa dal laboratorio Self-Assembly del MIT (Massachusetts Institute of Technology): sebbene qualsiasi struttura in tessuto abbia bisogno di telai rigidi di sostegno, o di cavi e tiranti che permettano di mantenere in posizione la tela, sfruttando le proprietà elastiche del tessuto e la tecnologia FDM si è in grado tuttavia di creare strutture auto-tensionabili. La macchina da taglio verrà quindi fornita di una testina intercambiabile di estrusore 3d che permetterà di depositare sul tessuto teso le linee di irrigidimento, secondo un disegno già studiato, integrando nel mate-

riale stesso la struttura portante: il tessuto, una volta liberato dal pre-tensionamento, ritornerà nella sua figura originaria ma con una nuova conformazione.

### 3.1. Tecnologia e componenti

La progettazione della macchina a controllo numerico è stata progettata per essere realizzata in breve tempo e a basso costo, trasportata in un isopallet (120x100 con h 180), assemblata in pochi pezzi e facile da montare; inoltre si è dovuto tenere conto di specifiche esigenze dettate dal materiale da processare e dalla possibilità di avere un area di lavoro che possa essere ampliata in base alle necessità.



(Fig. 3.1\_1) Tavolo da taglio e stampa 2D

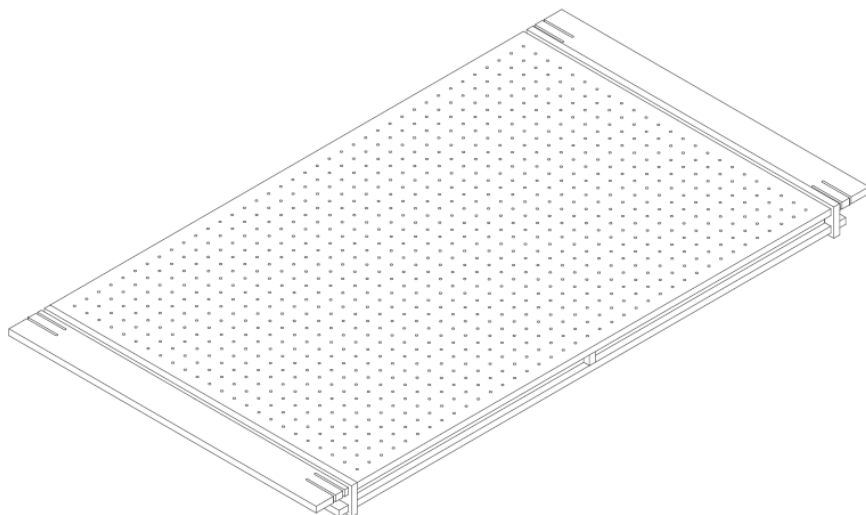
### 3.1.1. Piano da lavoro

Il piano di taglio, nonché la struttura di supporto per la meccanica della CNC da taglio/stampa 3D, ha un area di lavoro pari a 150x100 cm con la possibilità di essere ampliata lungo l'asse Y semplicemente raddoppiando il modulo di partenza. Grazie alla sua conformazione il piano, seppur raddoppiato o triplicato, mantiene la sua superficie continua e planare per permettere il posizionamento della meccanica.



(Fig. 3.1\_2)  
Pannelli di mdf

E' realizzato con pannelli di MDF ed e' assemblato senza viti ne bulloni tramite incastri, in aggiunta il piano di lavoro è predisposto per accogliere un sistema di aspirazione forzata che permette di tenere



(Fig. 3.1\_3) Assonometria del piano da lavoro in mdf

### 3.1.2. Meccanica

Una macchina a controllo numerico traduce i dati digitali in coordinate che li permettono di spostarsi secondo un definito programma di lavoro, questo è permesso dal suo spostamento nei tre assi cartesiani x,y e z. I tre assi sono realizzati da profilati estrusi in alluminio, i due assi Y sono ancorati al piano di lavoro mentre l'asse X e Z scorrono.

#### Trasmissione asse X:

L'asse X scorre grazie al moto trasmesso dalla puleggia alla cinghia e viceversa per reciproco ingranamento dei denti e di un motore passo passo; la scelta di questo sistema è data dalla loro robusta struttura che permette la realizzazione di trasmissioni poco ingombranti e di elevata potenza assicurando una quasi totale assenza di rumorosità.



(Fig. 3.1\_4)  
puleggia di alluminio  
dentata Gt3



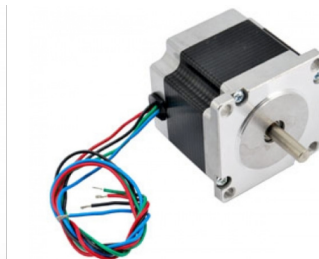
(Fig. 3.1\_5)  
Cinghia dentata GT3



(Fig. 3.1\_6)  
Ruota libera per cinghie  
dentate Gt3



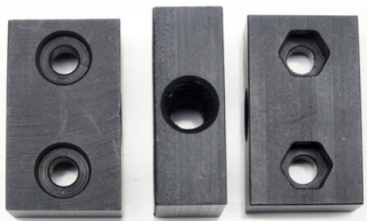
(Fig. 3.1\_7)  
Ancoraggio cinghia dentata al profilato  
in alluminio



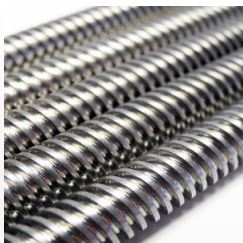
(Fig. 3.1\_8)  
Motore passo passo Nema 23

Trasmissione asse Z:

L'asse Z, dove verranno alloggiati la testa di taglio e l'estrusore 3D, si sposta in verticale attraverso una barra filettata trapezoidale, che permette maggiore precisione, collegata da un accoppiamento flessibile in alluminio a un motore passo passo



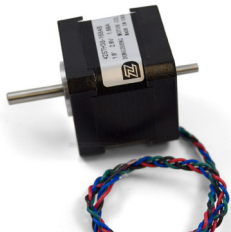
(Fig. 3.1\_9)  
Supporto flottante per  
viti trapezoidali



(Fig. 3.1\_10)  
Viti trapezoidali,  
diametro 8 mm



(Fig. 3.1\_11)  
Connessione vite trapezoidale  
con supporto flottante



(Fig. 3.1\_12)  
Motore passo passo Nema 17



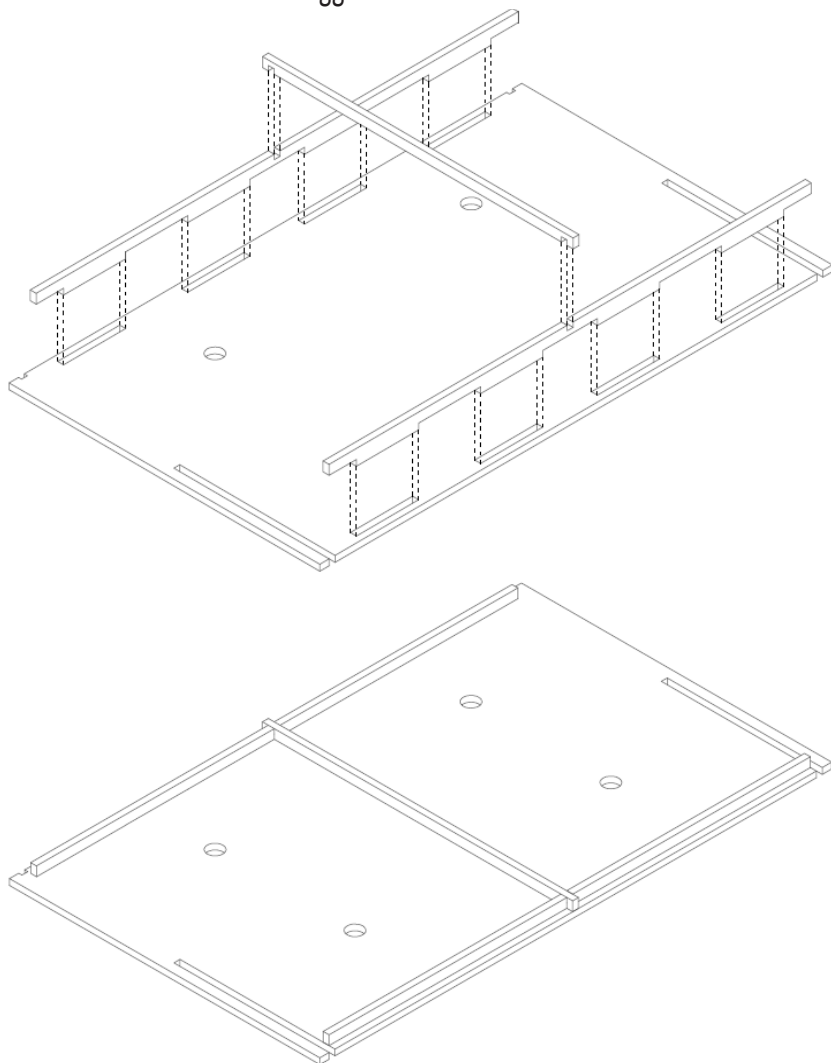
(Fig. 3.1\_13)  
accoppiamento flessibile di alluminio

### Tecnica di fabbricazione

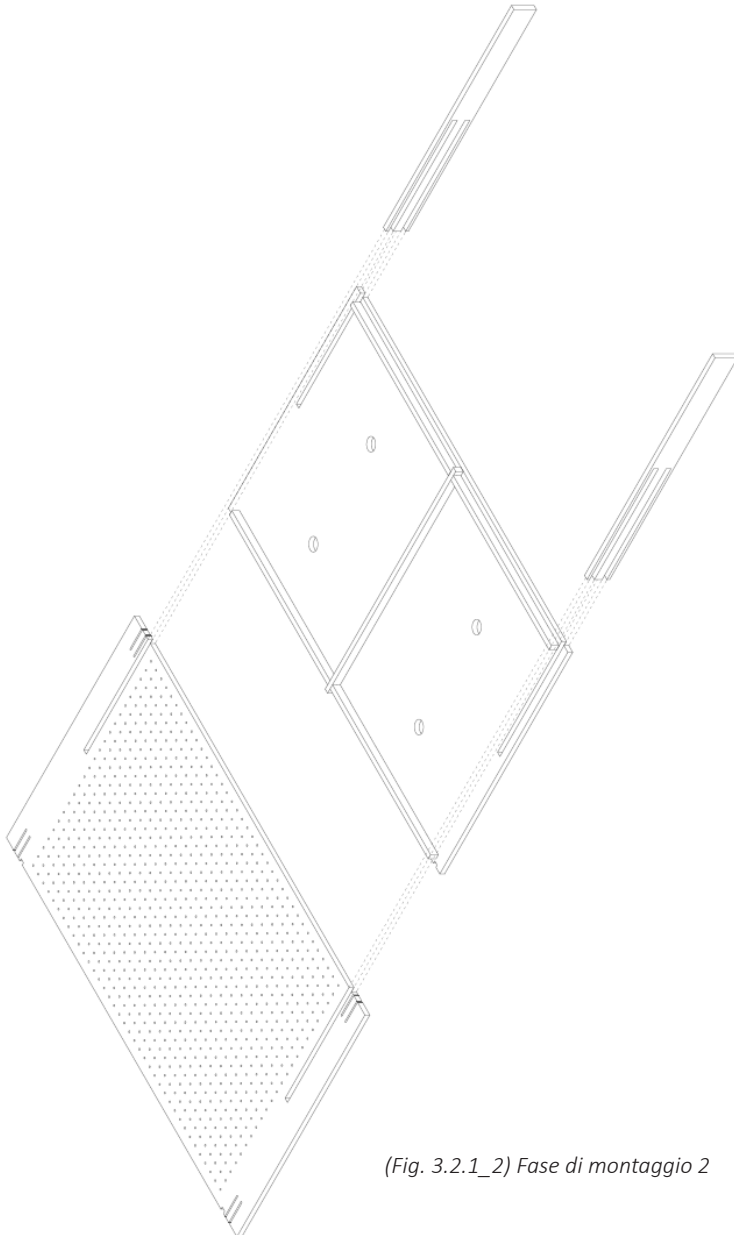
La scelta della lama da taglio è ricaduta sulla lama a rotella: la sua caratteristica principale è la sua alta velocità, che viene raggiunta senza esercitare particolare pressione sul materiale. La lama a rotella consente un taglio di sagome lineari, curvate o a cerchio e viene tipicamente utilizzata su materiali come PVC, tessuti spalmati di PVC, altri termoplastici, film in plastica, tessuti accoppiati, compositi, gomma di spessore non elevato, carta, pelle ed eco pelle, tessuti tecnici come acrilico, poliestere, Lycra, espansi di spessore non elevato e materiali isolanti

## 3.2. Kit di montaggio

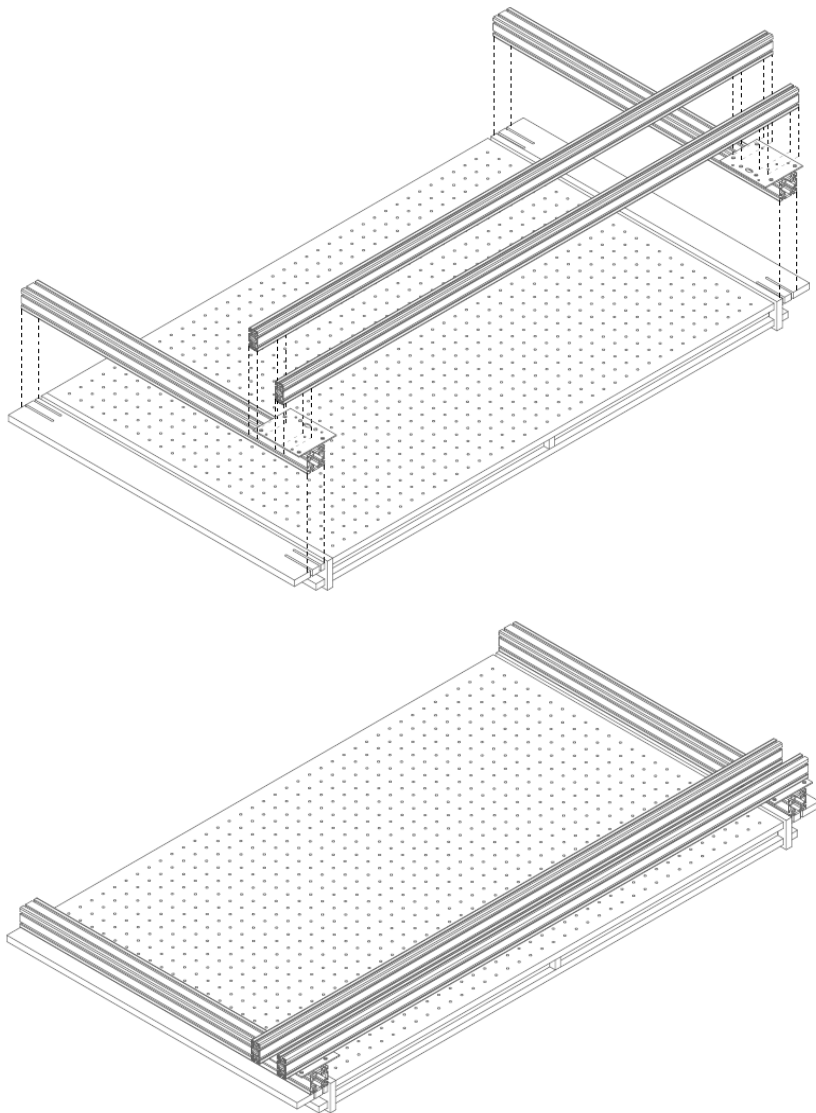
### 3.2.1. Istruzioni di montaggio:



(Fig. 3.2.1\_1) Fase di montaggio 1



(Fig. 3.2.1\_2) Fase di montaggio 2



(Fig. 3.2.1\_3) Fase di montaggio 3





## Stima dei costi

CODICE	DESCRIZIONE	U.M.	QUANTITÀ	NETTO	iva 22%	COSTO TOT	SPEDIZIONE	TOTALE	ALLEGATI TECNICI
<b>Robot Italy SRL</b>									
0.2	PoStep25-32	n°	3			€ 19,52	/	€ 58,56	Robot Italy - Driver
0.3	NEMA-23 - 3331 - 57STH56	n°	4			€ 25,99	/	€ 103,96	Robot Italy - Motore DC
								€ 162,52	PREVENTIVO
<b>ARPLAST</b>									
0.5	Pannello Medium Density 366x320 sp. 19 mm	n°	1	€ 53,66	€ 11,81	€ 65,47	€ 42,70	€ 108,17	ARPLAST - MDF sp. 19 mm
0.6	Pannello Medium Density 366x320 sp. 30 mm	n°	1	€ 129,69	€ 28,53	€ 158,22	/	€ 158,22	ARPLAST - MDF sp. 30 mm
								€ 266,39	PREVENTIVO
<b>Open Builds Italia</b>									
0.7	Cinghia - GT3 Timing Belt (30cm o multipli)	n°	15	€ 2,90	€ 0,64	€ 53,07	€ 9,00	€ 62,07	Openbuilds Part Store Italia - Cinghia
0.8	Smooth Idler Pulley Kit	n°	6	€ 4,35	€ 0,96	€ 31,84	/	€ 31,84	Openbuilds Part Store Italia - Smooth idler
0.9	Puleggia - GT3 Aluminum Timing Pulley - 20	n°	3	€ 5,75	€ 1,27	€ 21,05	/	€ 21,05	Openbuilds Part Store Italia - Puleggia
								€ 114,96	PREVENTIVO
<b>ITEM SRL</b>									
0.10	Profilato 6 60x30 leggero naturale	m	3,6	€ 16,03	€ 3,53	€ 70,40	€ 24,77	€ 95,17	Profilati 6 - 60x30
0.11	Profilato 6 60x60 naturale	m	2	€ 31,84	€ 7,00	€ 77,69	/	€ 77,69	Profilati 6 - 60x60
0.12	Taglio per piccole sezioni	n°	4	€ 1,80	€ 0,40	€ 8,78	/	€ 8,78	
								€ 181,64	PREVENTIVO
<b>COSTO TOTALE</b>								<b>€ 725,51</b>	



## 4. APPLICAZIONE PROGETTO

### 4.1. Esperimenti geometrici

La ricerca sperimentale condotta, prendendo spunto dal lavoro proposto al MIT sui materiali auto-assemblabili, vuole trovare un nuovo approccio progettuale per le strutture di rifugio che possano essere prodotte nei luoghi in cui dopo una catastrofe e/o guerre civili si verificano situazioni d'emergenza.

Tra i vari materiali locali, esaminati in precedenza, si è voluto prendere in esame il tessile: un materiale “povero” e da sempre utilizzato dai tutti i popoli per fini di riparo. Il tessile nonostante sia un materiale bidimensionale è un materiale altamente versatile, è facile da processare e può assumere diverse conformazioni. E' proprio queste sue caratteristiche in aggiunta alle sue proprietà fisiche elastiche e alle nuove opportunità date dalla fabbricazione digitale, che si è cercato di comprendere i meccanismi di deformazione di tessuti pre-tensionati con forme geometriche semplici stampate in 3D ed esplorare poi come queste strutture possano essere applicate in architettura.

Per raggiungere questo obiettivo si scelto di sperimentare queste forme su piccola scala.

Si è utilizzato:

-Un tessuto ricavato dalle calze collant 20 denari

Generalmente sono composte da una % di poliammide e una % di Elastan, questa fibra sintetica di poliuretano ha delle proprietà elastiche uniche: può subire vari cicli di allungamento e recuperare la lunghezza iniziale. Inoltre è composta da un trama knit che permette un ulteriore allungamento su entrambe le direzioni.

-Il filamento per la stampa in materiale PLA

E' un materiale plastico fatto di amidi rinnovabili come il mais o canna da zucchero -quindi biodegradabile- ed ha una temperatura di fusione (per il filamento di diametro 1,75 mm) a 180°. Gli elementi stampati in PLA ,raffreddati a contatto con l'aria, hannouna bassa % di ritiro, quindi sono meno soggetti alle deformazioni durante il processo di stampa.

-La stampante 3D sharebot

E' una stampante a singolo estrusore con ventola di raffreddamento, fornita di piatto di stampa non riscaldato ed estraibile – comodo per la fase di pre-tensionamento del tessuto- di dimensioni 20x20 cm.

Prima fase - **STRETCH**

Nella prima fase il tessuto viene pre-tensionato sul piatto di stampa aumentandone il dimensionamento del 150%



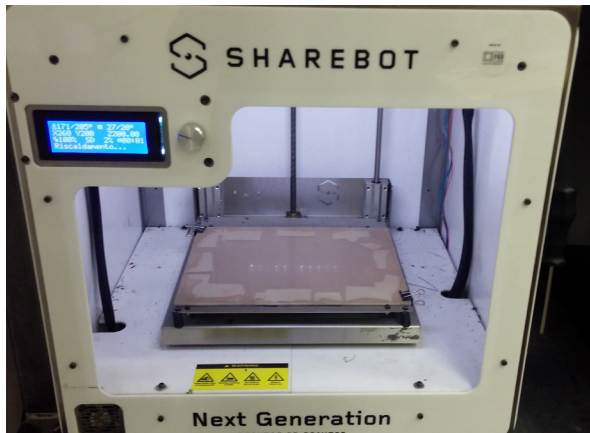
(Fig. 4.1\_1)

### Seconda fase - PRINT

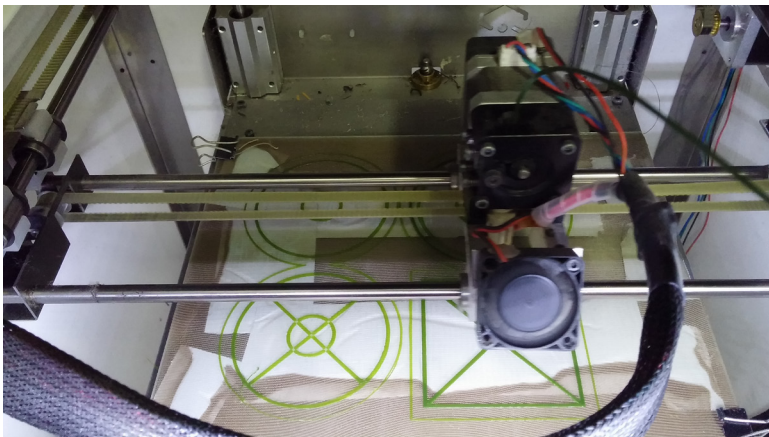
Nella seconda fase inizia il processo di stampa 3D.

Il filamento di diametro 1,75 mm viene estruso tra una temperatura di 205°-215° a velocità di stampa 40/50 mm/s

I contorni della forma geometrica stabilita sono fissati a una larghezza di 1,4 mm per 0,5 mm di altezza.



(Fig. 4.1\_2)



(Fig. 4.1\_3)

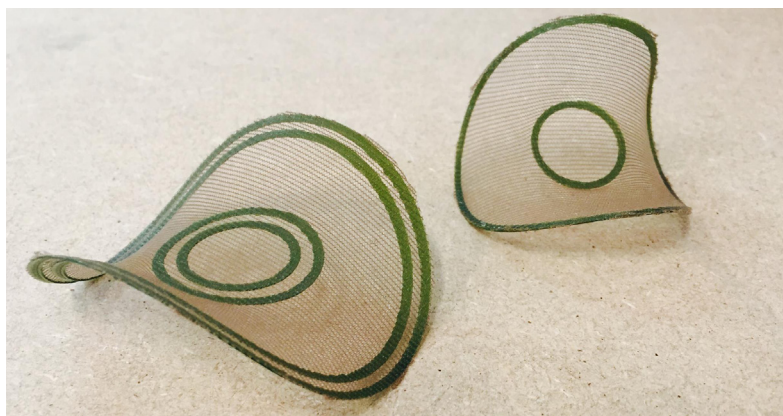
### Terza fase - CUT

L'ultima fase è il taglio lungo la geometria disegnata.

Le linee di irrigidimento di PLA estruso contrastano le fibre del tessuto, che tendono a tornare nella loro dimensione originaria, producendo così delle deformazioni che si tramutano in forme geometriche tridimensionali che possiamo controllare.



(Fig. 4.1\_4)



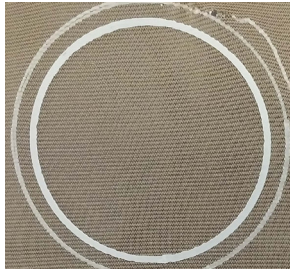
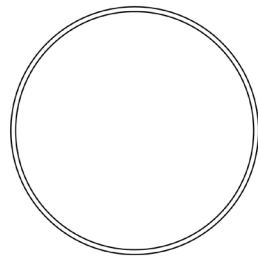
(Fig. 4.1\_5)

# Forma geometrica

## CIRCONFERENZA

C1

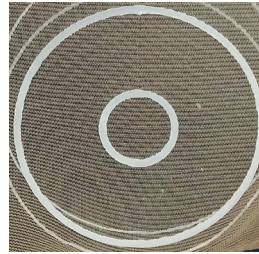
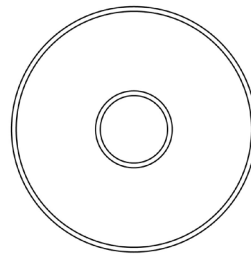
øe 70 mm



C2

øe 70 mm

øi 20 mm



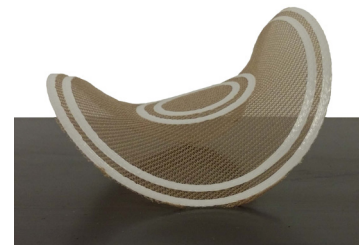
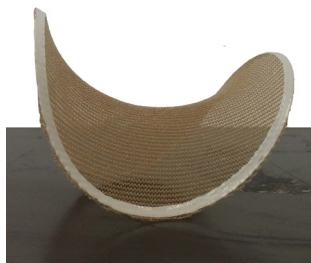
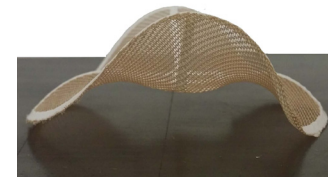
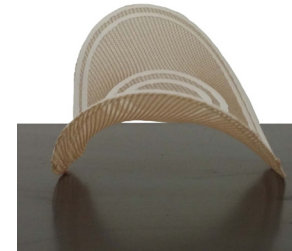
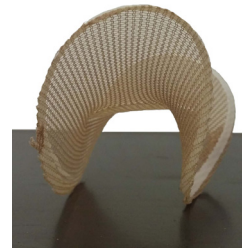
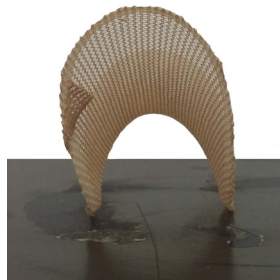
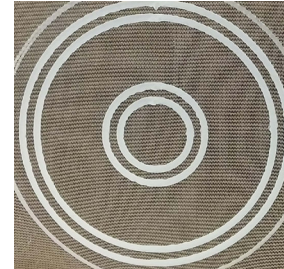
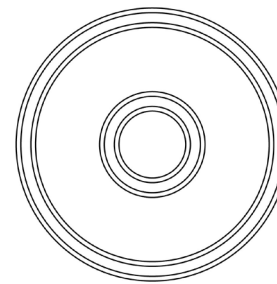
C3

øe 80 mm

øe 70 mm

øi 20 mm

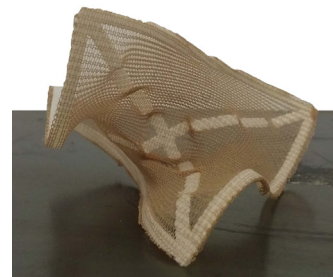
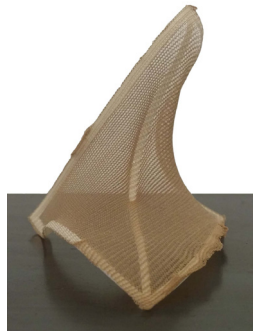
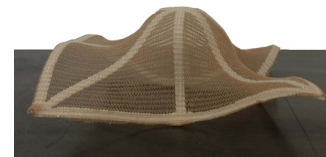
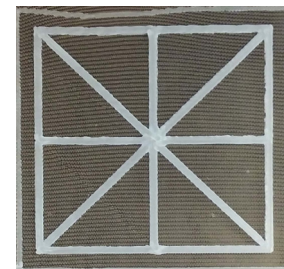
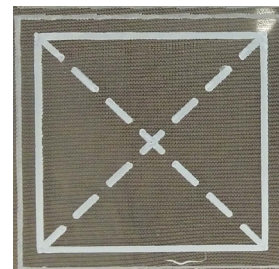
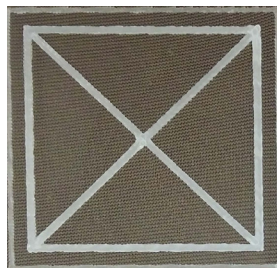
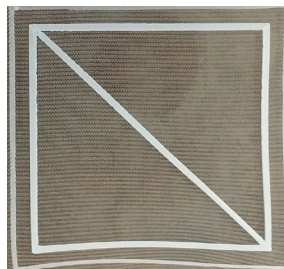
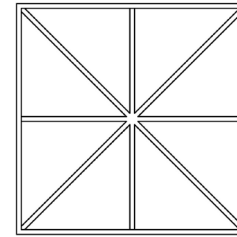
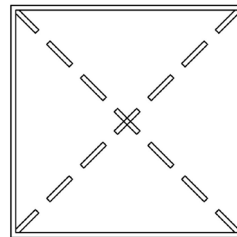
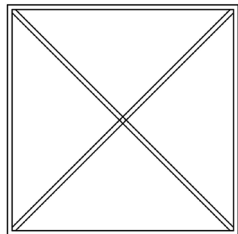
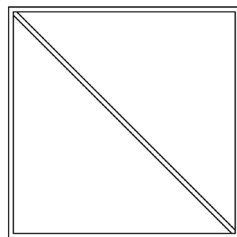
øi 30 mm



Forma geometrica

QUADRATO

65x65 mm



# Forma geometrica

RETTANGOLO

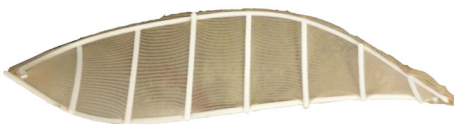
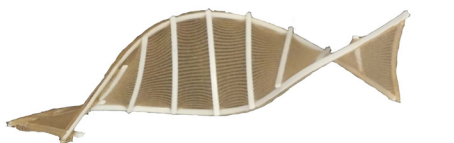
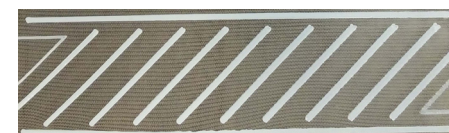
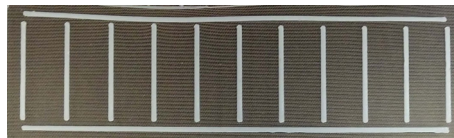
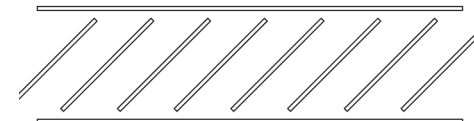
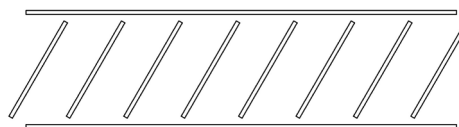
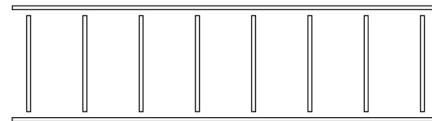
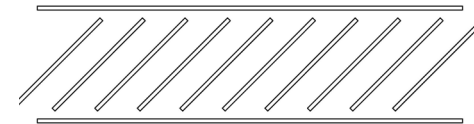
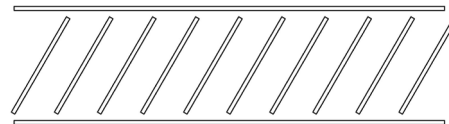
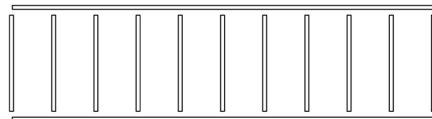
40x150 mm

linee interne

R1 inclinazione 90°

R2 inclinazione 45°

R3 inclinazione 30°

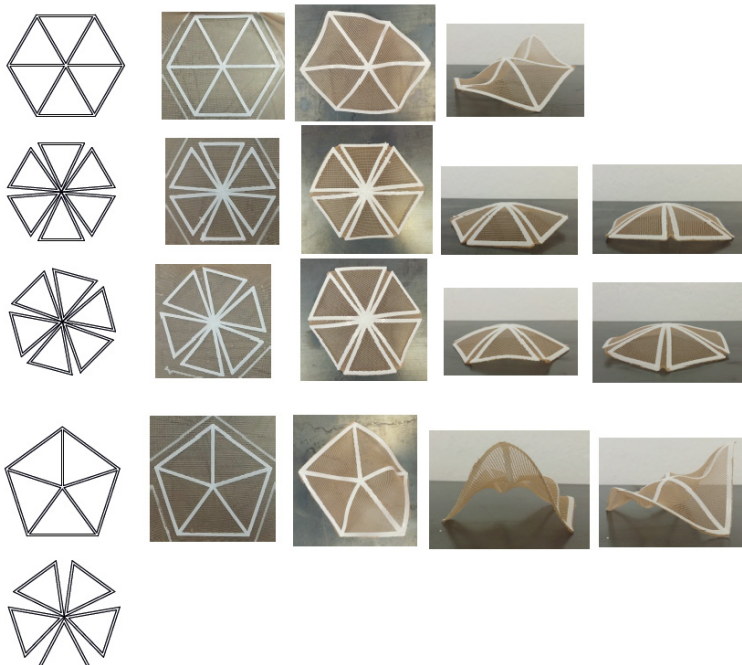




## 4.2. Progetto

In seguito agli esperimenti geometrici realizzati con tessuto ricavato dalle calze collant e il filamento in PLA per la stampa FDM, ho applicato questa tecnica e strategia di progettazione a un progetto di rifugio sperimentale di una dôme adattiva.

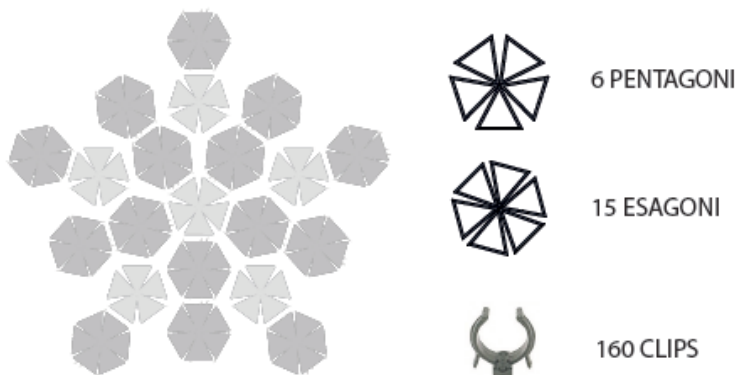
La dôme presa come riferimento per l'applicazione del progetto è l'architettura tradizionale dei Zulu, un popolo del Sud Africa, chiamata Indlu. La struttura dell'Indlu è una capanna a cupola e può essere ricondotta parametricamente a una cupola geodetica composta da elementi esagonali e pentagonali. Sono stati effettuati inizialmente delle studi di deformazione in piccola scala su collant, come negli esperimenti geometrici precedenti; successivamente, si è ipotizzato un singolo modulo reale di



(Fig. 4.2\_1) Sperimentazioni geometriche

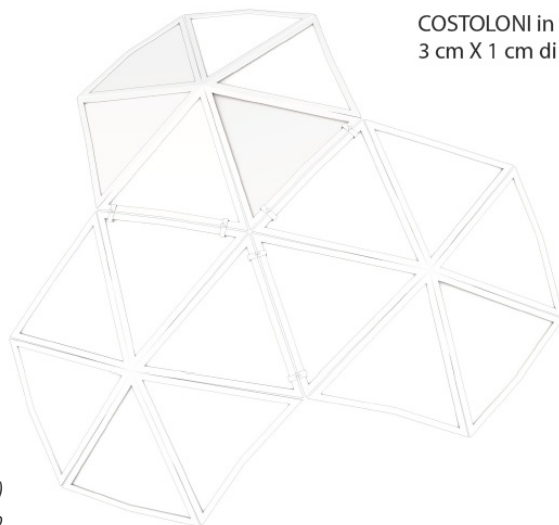
dimensioni 75x75 cm, con le linee di irrigidimento di PLA estruso fissati a una larghezza di 3 cm per 1 cm di spessore.

Mediante la strategia di progettazione *tesselation*, la mesh -definita parametricamente- viene scomposta in singoli componenti che una volta montati assieme, grazie a delle clips, formano la superficie a cupola senza sovrapposizione e spazi vuoti.

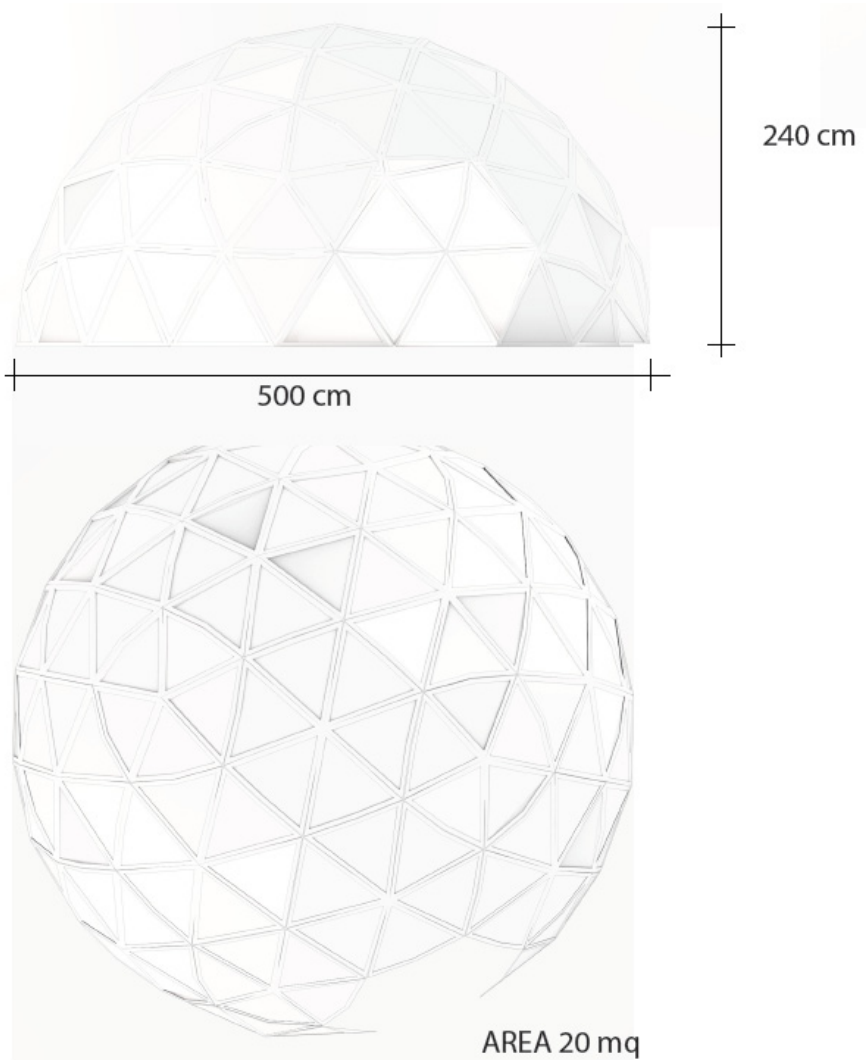


(Fig. 4.2\_2)  
Schemi di  
montaggio

COSTOLONI in PLA  
3 cm X 1 cm di spessore



(Fig. 4.2\_3)  
Dettaglio costruttivo



(Fig. 4.2\_4) Pianta e prospetto



*(Fig. 4.2\_5) Modello tridimensionale*



## CONCLUSIONI

Questa tesi vuole proporre una nuova opportunità di implementazione di intervento e gestione delle situazioni di emergenza, attraverso un'ipotesi progettuale che sia in grado di fornire non solo una struttura di riparo ma uno strumento il più universale possibile in grado di costruire un modulo abitativo che rispecchi le tradizioni culturali –sempre diverse– del contesto specifico colpito dall'emergenza.

L'obiettivo che si è cercato di raggiungere è quello di realizzare una macchina a controllo numerico con testa da taglio e estrusore 2D che, insieme ad un kit di montaggio, possa essere riproposta tutte le volte in cui sia richiesta una tempestiva ricostruzione di alloggi. Questo approccio risolve le difficoltà in cui si trovano le diverse organizzazioni umanitarie: quella di dover elaborare un modulo abitativo che sia universale. Il kit permette di avere uno strumento di supporto, semplice e rapido, sia nella progettazione che nella realizzazione di un riparo di emergenza direttamente in loco, con la possibilità di generare profitti per la comunità e contribuire così anche alla valorizzazione dell'economia locale.

Lo studio geometrico effettuato sui meccanismi di deformazione dei tessuti pre-tensionati di forme semplici stampate in 3d, vuole porre le basi per un approfondimento futuro di applicazione in ambito architettonico che permetta di realizzare strutture senza l'ausilio di telai strutturali.

Il progetto è stato sviluppato in modo sperimentale, a partire dall'analisi delle geometrie base, attraverso l'applicazione del sistema in un modulo poligonale pre-tensionato realizzata su piccola scala –che ha aperto nuove possibilità progettuali e componibili– e di un progetto di una struttura di riparo di dome adattiva, che prende riferimento da un architettura tradizionale africana, in grado di ospitare una famiglia di 4/6 persone.

La modularità della dome permette alla struttura di essere facilmente smontabile e trasportabile rispettando le richieste del processo incre-

mentale di ricostruzione; il tessuto e la struttura di supporto in PLA inoltre, grazie alla loro versatilità e leggerezza, possono essere riconfigurati in nuove forme in base all'esigenza e alle tradizioni abitative locali.

Tuttavia un effettiva realizzazione dovrebbe richiedere un approfondita ricerca sul materiale tessile, una verifica di applicabilità e ulteriori verifiche per quanto riguarda il dimensionamento e i giunti al fine di garantire una maggiore stabilità e sicurezza.



# BIBLIOGRAFIA

Clara Masotti, Manuale di Architettura di emergenza e temporanea: soluzioni per l'edilizia temporanea, nomade ed estrema, Napoli, Sistemi Editoriali, 2010.

Corrado Trombetta, L'attualità del pensiero di Hassan Fathy nella cultura tecnologica contemporanea: il luogo, l'ambiente e la qualità dell'architettura, Catanzaro, Rubbettino, 2002.

M. Bertoldini ... [et al.] ; a cura di Andrea Campioli, Progettare oltre l'emergenza : spazi e tecniche per l'abitare temporaneo, Milano, il sole 24 ore, 2009.

Monica Lavagna, Life Cycle Assessment in edilizia, Milano, Hoepli, 2008

John May, Architettura senza architetti: guida alle costruzioni spontanee di tutto il mondo, Milano, Rizzoli, 2010.

Transitional shelters - Eight designs, International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies, Geneva (CH), 2012

Transitional shelter - guidelines, Shelter Centre, Geneva (CH), 2012

Shelter project 2013-2014, IFRC, UN-HABITAT and UNHCR, 2014

[www.disaster-report.com](http://www.disaster-report.com)

[www.emdat.be](http://www.emdat.be)

[www.earthcharterinaction.org](http://www.earthcharterinaction.org)

[www.ifrc.org](http://www.ifrc.org)

[www.internal-displacement.org/global-estimates/](http://www.internal-displacement.org/global-estimates/)

[www.nrc.no](http://www.nrc.no)

[www.rinnovabili.it/ambiente/](http://www.rinnovabili.it/ambiente/)

[www.sheltercasestudies.org](http://www.sheltercasestudies.org)

[www.shelter-systems.com](http://www.shelter-systems.com)

[www.sheltercentre.org](http://www.sheltercentre.org)

[www.unfpa.org](http://www.unfpa.org)

[www.unhcr.it](http://www.unhcr.it)

Arturo Tedeschi, AAD Algorithms-Aided Design. Parametric strategies using grasshopper, Le Penseur, 2014

Groover, Mikell P. , Fundamentals of modern manufacturing : materials, processes, and systems, Chichester, John Wiley & Son Ltd.,

2010

Moritz Hauschild and Rudiger Karzel, Digital processes: Planning De-sign Production, Basel (CH), Detail practice, 2011

Nick Dunn, Digital fabrication in architecture, London, Laurence King Pu-blishing, 2012

Roberto Naboni ed Ingrid Paoletti, Advanced Customization in Archi-tectural design and Construction, Milano, Politecnico di Milano ed Sprin-ger, 2015

Stevens, James C., Digital vernacular : architectural principles, tools and processes, London, Routledge, 2015

Taglio laser

[www.fablabitalia.it/wiki//Lasercut/Lasercut](http://www.fablabitalia.it/wiki//Lasercut/Lasercut)

[www.tecmatied.wordpress.com/category/tecnologie-innovative/Waterjet](http://www.tecmatied.wordpress.com/category/tecnologie-innovative/Waterjet)

[www.antolini.com](http://www.antolini.com)

[www.omaxitalia.com](http://www.omaxitalia.com)

[www.sfcreativelab.it/category/tecnologie-di-taglio/](http://www.sfcreativelab.it/category/tecnologie-di-taglio/)

Lama fissa

I. Vilumsone-Nemes, Industrial cutting of textile materials, Woodhead, 2012

Italia publisher n° 01/2015 pag 26-31

[www.elsign-cnc.com](http://www.elsign-cnc.com)

[www.donektools.com/](http://www.donektools.com/)

[www.smre.it](http://www.smre.it)

[www.aeronaut.org](http://www.aeronaut.org)

Groover, Mikell P. , Fundamentals of modern manufacturing : mate-rials, processes, and systems, Chichester, John Wiley & Son Ltd., 2010

Moritz Hauschild and Rudiger Karzel, Digital processes: Planning De-sign Production, Basel (CH), Detail practice, 2011

Nick Dunn, Digital fabrication in architecture, London, Laurence King Pu-blishing, 2012

Roberto Naboni ed Ingrid Paoletti, Advanced Customization in Archi-tectural design and Construction, Milano, Politecnico di

Milano ed Springer, 2015

Stevens, James C., Digital vernacular : architectural principles, tools and processes, London, Routledge, 2015

FDM (Fused Deposition Modeling)

[www.piulab.it/](http://www.piulab.it/)

[www.tecmatied.wordpress.com/category/tecnologie-innovative/](http://www.tecmatied.wordpress.com/category/tecnologie-innovative/)

[www.oneoff.it/modellazione-a-deposizione-fusa/](http://www.oneoff.it/modellazione-a-deposizione-fusa/)

SLA (Stereolitografia)

[www.formlabs.com/](http://www.formlabs.com/)

SLS (Selective Laser Sintering)

[www.makepartsfast.com](http://www.makepartsfast.com)

[www.cimindustry.com](http://www.cimindustry.com)

FRESA

Moritz Hauschild and Rudiger Karzel, Digital processes: Planning De-sign Production, Basel (CH), Detail practice, 2011

Nick Dunn, Digital fabrication in architecture, London, Laurence King Publishing, 2012

Roberto Naboni ed Ingrid Paoletti, Advanced Customization in Archi-tectural design and Construction, Milano, Politecnico di Milano ed Springer, 2015

Stevens, James C., Digital vernacular : architectural principles, tools and processes, London, Routledge, 2015

[www.miocugino.com](http://www.miocugino.com)

[www.heliosautomazioni.com/it/news/news-glomus](http://www.heliosautomazioni.com/it/news/news-glomus)

Christopher Beorkrem, Material strategies in digital fabrication, New York, Routledge, 2013

Lisa Iwamoto, Digital fabrications : architectural and material techni-ques, New York : Princeton architectural press, 2009

Nick Dunn, Digital fabrication in architecture, London, Laurence King Pu-blishing, 2012

Casi studio: Architettura in legno

Wikihouse:

Roberto Naboni ed Ingrid Paoletti, *Advanced Customization in Archi-tectural design and Construction*, Milano, Politecnico di Milano ed Sprin-ger, 2015  
Domus n° 959, giugno 2012 pag. 71-75  
Architecture d'aujourd'hui n°383 pag. 158-164  
[www.wikihouse.cc](http://www.wikihouse.cc)  
Fire Shelter, Shjworks:  
Dukta, structural Skin:  
Wood-skin:  
Domus n°965, gen 2013 pag. 108-109  
[www.biesse.com](http://www.biesse.com)  
[www.wood-skin.com](http://www.wood-skin.com)  
Casi studio: Architettura in terra e argilla  
D-Shape, Enrico Dini  
Nick Dunn, *Digital fabrication in architecture*, London, Laurence King Pu-blishing, 2012  
Costruire n°331, 2010 pag. 90  
[www.dinitech.it](http://www.dinitech.it)  
[www.d-shape.com](http://www.d-shape.com)  
Building Bytes, Brian Peters  
Roberto Naboni ed Ingrid Paoletti, *Advanced Customization in Archi-tectural design and Construction*, Milano, Politecnico di Milano ed Sprin-ger, 2015  
Detail n°6, 2013 pag. 720-721  
[www.designlabworkshop.com/works/building-bytes](http://www.designlabworkshop.com/works/building-bytes)  
[www.buildingbytes.info](http://www.buildingbytes.info)  
D-Delta, Wasp project  
[www.wasproject.it](http://www.wasproject.it)  
[www.centrosviluppoprogetti.it/wasp-project](http://www.centrosviluppoprogetti.it/wasp-project)  
Contour Crafting, Dr. Behrokh Khoshnevis of the University of Southern California:  
*Automation in Construction* 29 (2013) 50-67  
[www.contourcrafting.org](http://www.contourcrafting.org)  
Casi studio: Architettura in tessuto  
Casa del libro, Marcelo Dantas e Olga Sanina:  
[www.arcstreet.com/article-madrid-book-fair-pavilion-by-olga-sani-na-](http://www.arcstreet.com/article-madrid-book-fair-pavilion-by-olga-sani-na-)

[marcelo-dantas-aurora-by-ryuji-nakamura-110934420.html](http://marcelo-dantas-aurora-by-ryuji-nakamura-110934420.html)

Cutty Shark Pavilion , Bakoko:

[www.bakoko.jp](http://www.bakoko.jp)

[www.nzwood.co.nz/case-studies/cutty-sark-pavilion/](http://www.nzwood.co.nz/case-studies/cutty-sark-pavilion/)

Self-Assembly, MIT:

[www.christopheguberan.ch/Stretching-fabric](http://www.christopheguberan.ch/Stretching-fabric)

[news.mit.edu/2014/3-d-printed-materials-curve-stretch-1218](http://news.mit.edu/2014/3-d-printed-materials-curve-stretch-1218)

[www.selfassemblylab.net/ProgrammableMaterials](http://www.selfassemblylab.net/ProgrammableMaterials)

Tensioned Relaxations, SDA:

[www.synthesis-dna.com/projects/tensioned-relaxations](http://www.synthesis-dna.com/projects/tensioned-relaxations)

[www.dezeen.com/2013/11/14/volvo-pure-tension-pavilion-charges-an-electric-car-by-synthesis-design-architecture/](http://www.dezeen.com/2013/11/14/volvo-pure-tension-pavilion-charges-an-electric-car-by-synthesis-design-architecture/)

