# PROCESSI DI PRODUZIONE E ADVANCED MANUFACTURING ISIA-Firenze

Prof. Ing. Francesca Parotti PhD

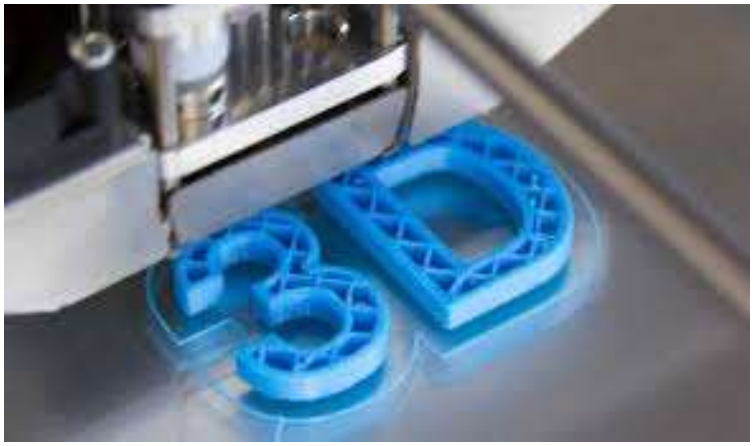
www.francescaparotti.it





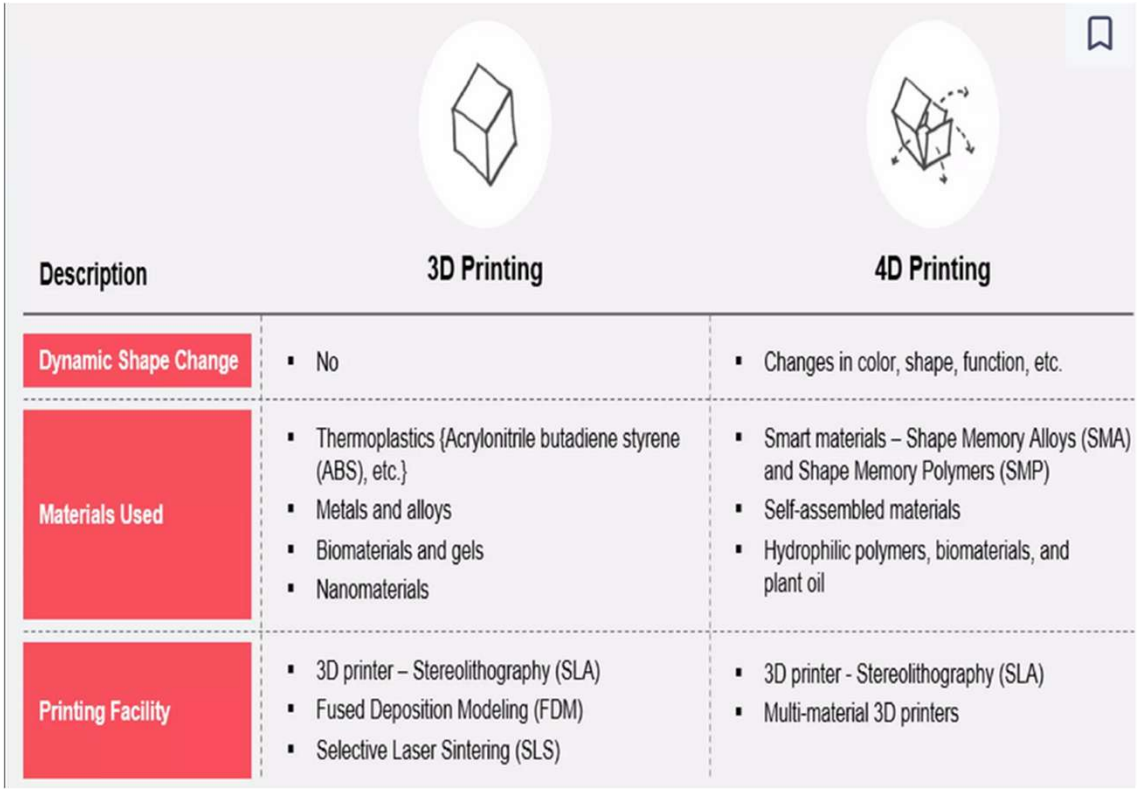


La stampa 3D è una nota tecnologia di produzione additiva che consente a ricercatori, produttori e utenti privati di fabbricare oggetti 3D personalizzati utilizzando software come CAD (Computer Aided Design) [1]. A causa della natura altamente personalizzabile della stampa 3D, ha trovato impiego in numerosi settori come la fabbricazione di bigiotteria [2], tessuti stampati polimerici [3], supercondensatori, metamateriali e sensori meccanici, robotica bio-ibrida
[4] e impalcature di tessuto. Diverse tecnologie di produzione additiva sono state sviluppate per la lavorazione di polimeri puri e nanocompositi polimerici [5] come stereolitografici (SL), proiezione di luce digitale (DLP), stampa diretta a getto d'inchiostro ed estrusione, nonché modellazione a deposizione liquida (LDM).

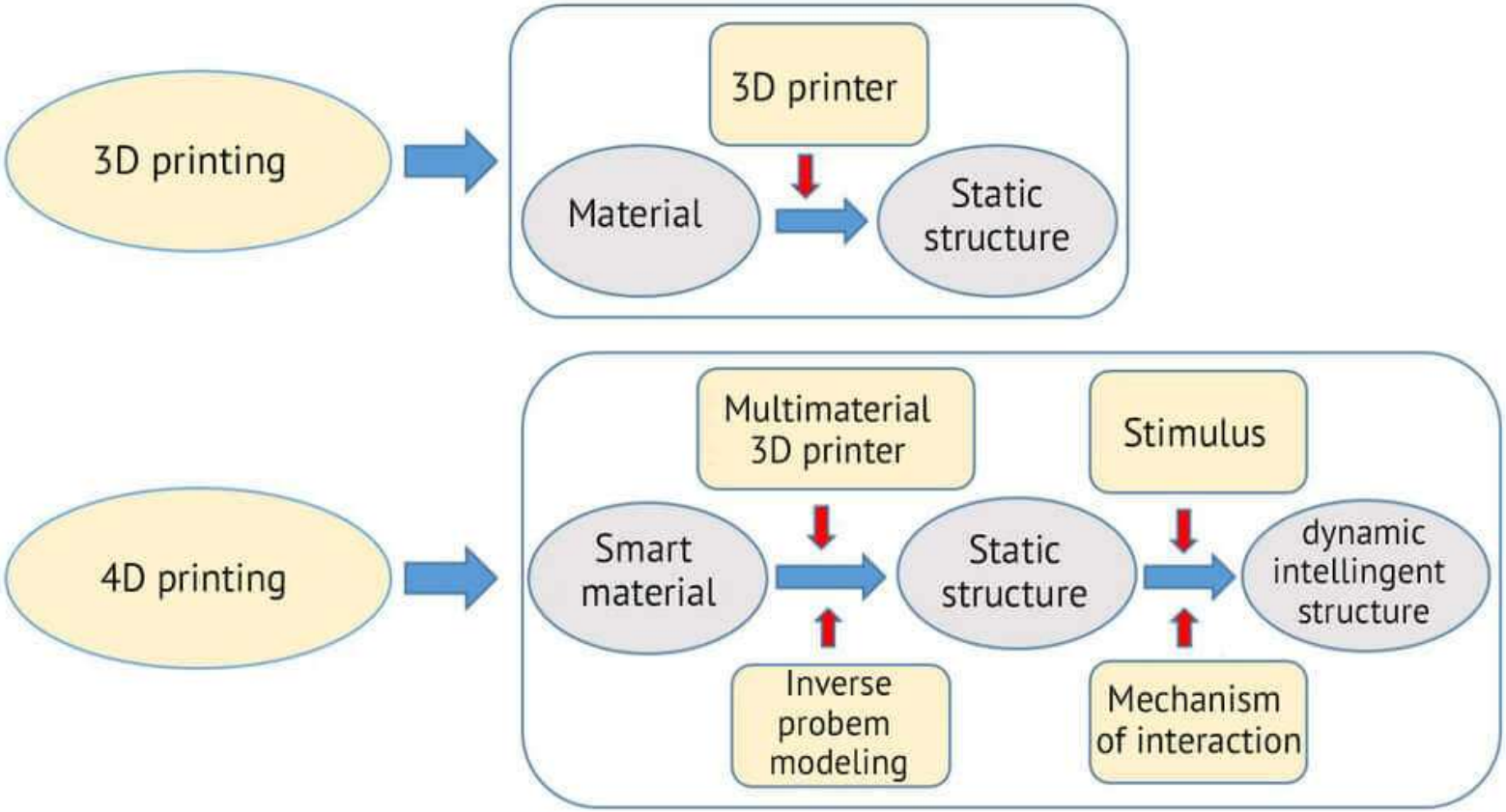


L'introduzione di materiali intelligenti che rispondono a stimoli esterni ha trovato impiego nel recupero della forma, nei sensori e negli attuatori.
La tecnologia di stampa 3D è stata utilizzata per creare strutture statiche da dati digitali in coordinate 3D, la stampa 4D aggiunge il concetto di cambiamento nel tempo della configurazione stampata, dipendente dagli stimoli ambientali. I sistemi di morphing della forma possono essere trovati in molte aree tra cui i tessili intelligenti [8], la robotica autonoma, i dispositivi biomedici, la consegna di farmaci e l'ingegneria dei tessuti.

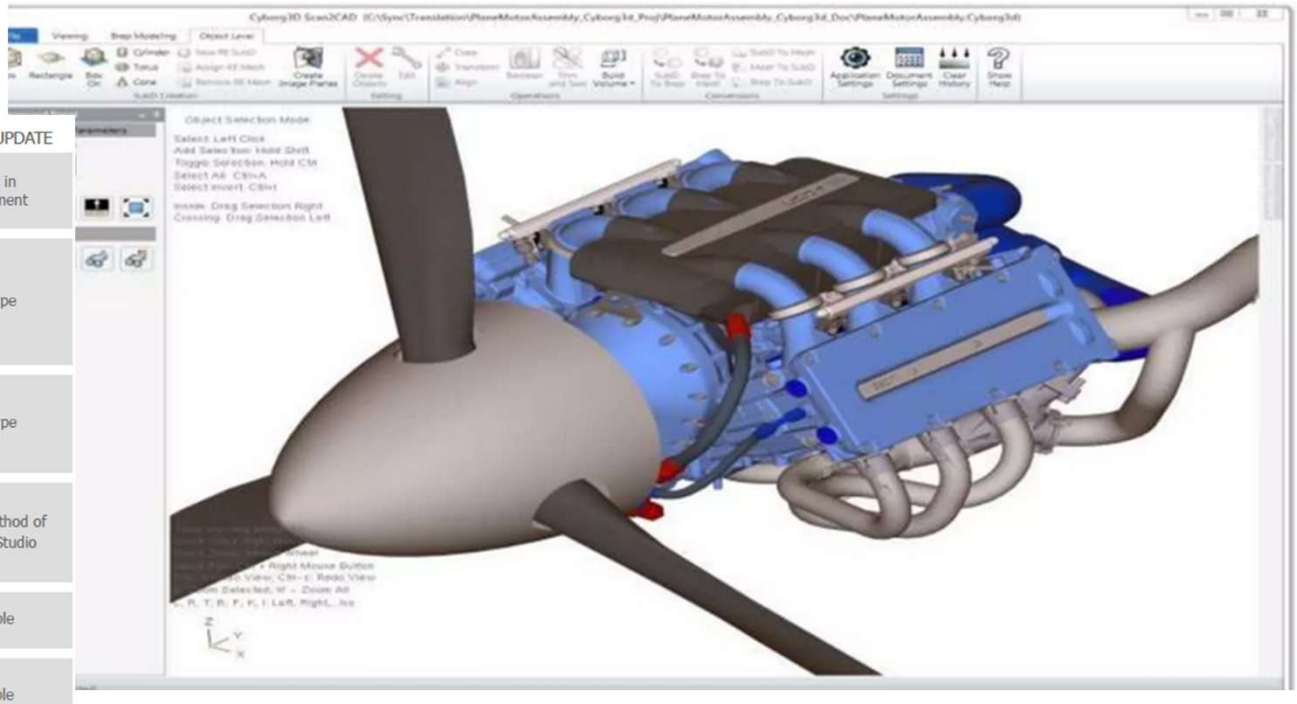
L'introduzione di materiali intelligenti che rispondono a stimoli esterni ha trovato impiego nel recupero della forma, nei sensori e negli attuatori.
La tecnologia di stampa 3D è stata utilizzata per creare strutture statiche da dati digitali in coordinate 3D, la stampa 4D aggiunge il concetto di cambiamento nel tempo della configurazione stampata, dipendente dagli stimoli ambientali. I sistemi di morphing della forma possono essere trovati in molte aree tra cui i tessili intelligenti la robotica autonoma, i dispositivi biomedici, la consegna di farmaci e l'ingegneria dei tessuti.
Il primo a introdurre il concetto di stampa 4D è stato Skylar Tibbits, direttore dell' Assembly Lab del MIT,  in una TEDX



| Description | 3D Printing | 4D Printing |
|---|---|---|
| Dynamic Shape Change | ▪ No | ▪ Changes in color, shape, function, etc. |
| Materials Used | ▪ Thermoplastics {Acrylonitrile butadiene styrene (ABS), etc.}<br>▪ Metals and alloys<br>▪ Biomaterials and gels<br>▪ Nanomaterials | ▪ Smart materials – Shape Memory Alloys (SMA) and Shape Memory Polymers (SMP)<br>▪ Self-assembled materials<br>▪ Hydrophilic polymers, biomaterials, and plant oil |
| Printing Facility | ▪ 3D printer – Stereolithography (SLA)<br>▪ Fused Deposition Modeling (FDM)<br>▪ Selective Laser Sintering (SLS) | ▪ 3D printer - Stereolithography (SLA)<br>▪ Multi-material 3D printers |


3D printing
3D printer
Material
Static structure
4D printing
Multimaterial 3D printer
Stimulus
Smart material
Static structure
dynamic intellingent structure
Inverse probem modeling
Mechanism of interaction

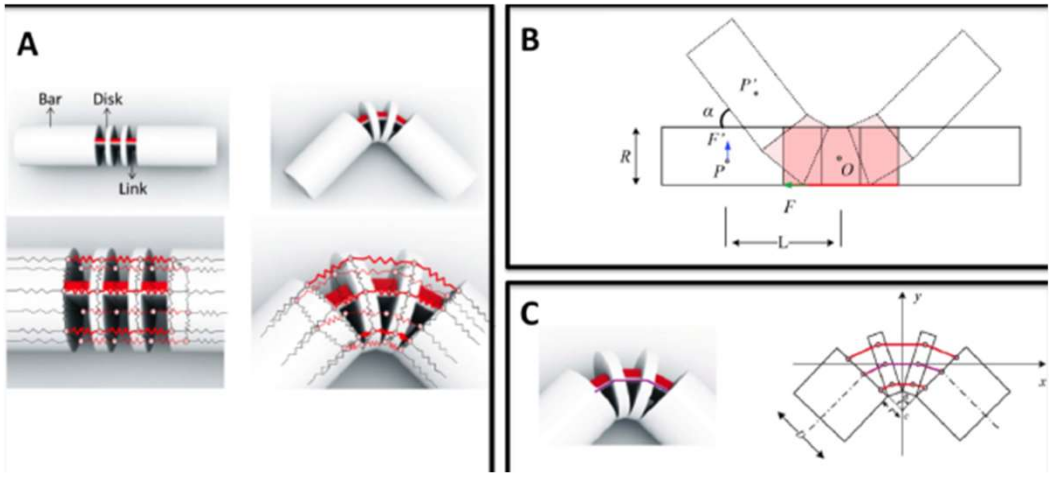
Uno dei software utilizzati per la progettazione in 4D è Cyborg, che può progettare da scala nanometrica a scala umana



| DESIGN TOOL | CONCEPT | APPLICATIONS | CURRENT UPDATE |
|---|---|---|---|
| **Project Cyborg** | 4D Printing Software | Simulating transformation<br>Specifying parameters | Project in development |
| **Thermorph** | 4D Printing Software | Converting 3D/2D model into self-folding structures<br>Simulating folding<br>Specifying parameters<br>Creating G-Code for 3DP | Prototype |
| **4DMesh** | 4D Printing Method | Converting 3D model into self-folding structures<br>Specifying parameters<br>Creating G-Code for 3DP | Prototype |
| **Kinematics** | 3D Printing System | Converting 3D model into patterned flexible structure<br>Customization<br>3D printed in-place | Specific method of a Design Studio |
| **Origamizer** | Origami software | Generating the origami pattern for a given three-dimensional shape | Available |
| **System Eos** | Origami software | Virtually folding sheets to design origami structures | Available |
| **TreeMaker** | Origami software | Design of origami bases | Available |
| **Akleman's method** | Algorithm Origami Model | Generating the origami pattern for a given three-dimensional shape | Available |

I modelli matematici sono la base degli strumenti e dei metodi necessari per progettare strutture stampate in 4D.
Questi modelli definiscono l'approccio per simulare e fabbricare strutture autoevolutive che
si trasformano in una forma predeterminata, modificando proprietà e funzione dopo la fabbricazione.
Modelli matematici o modelli teorici appropriati sono necessari per i seguenti motivi

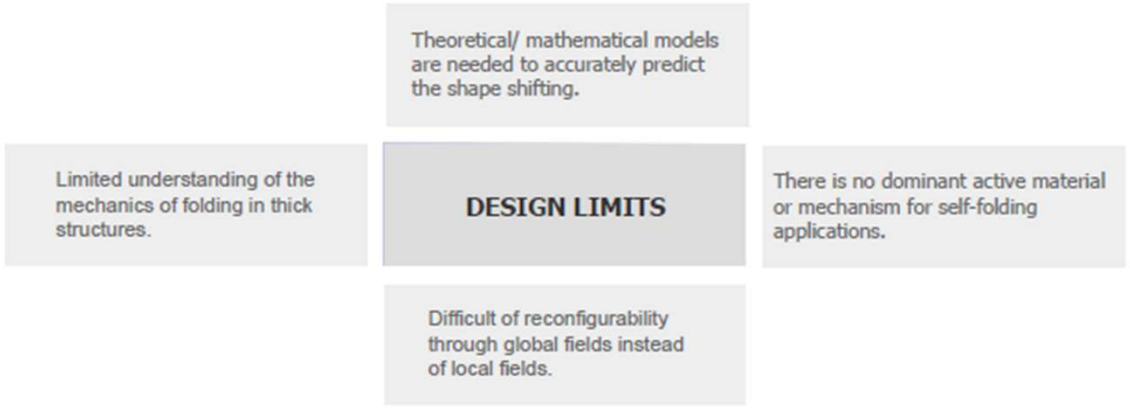
- Prevedere la forma finale per una data struttura di materiale, proprietà del materiale e proprietà di stimolo.
- Prevedere l'evoluzione della forma dopo la stampa nel tempo.
- Evitare collisioni tra i componenti della struttura durante l'operazione di autoassemblaggio.
- Ridurre il numero di esperimenti di tentativi ed errori.



LIMITI DI PROGETTAZIONE

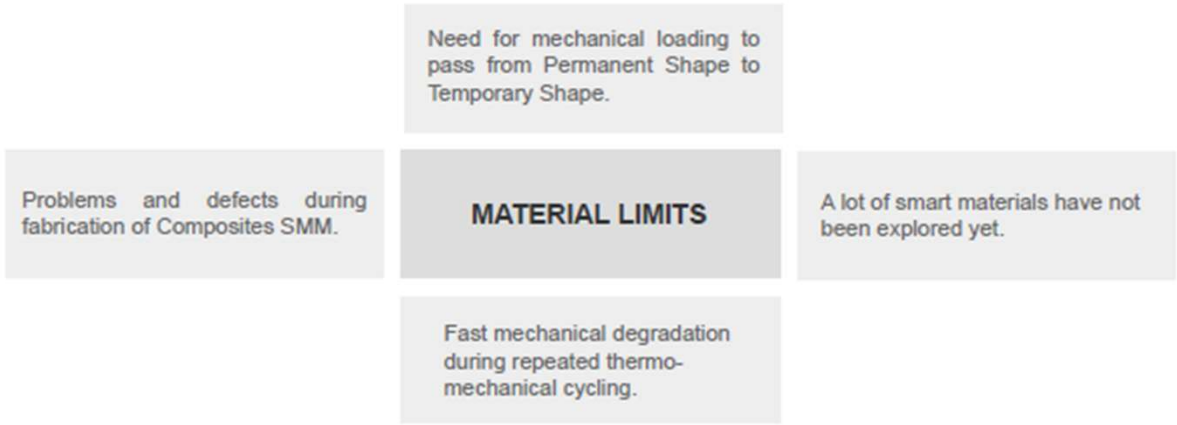
Sebbene la ricerca sui principi di progettazione 4D e sulle strutture di piegatura sia stata ampia, restano molteplici sfide e quesiti aperti.

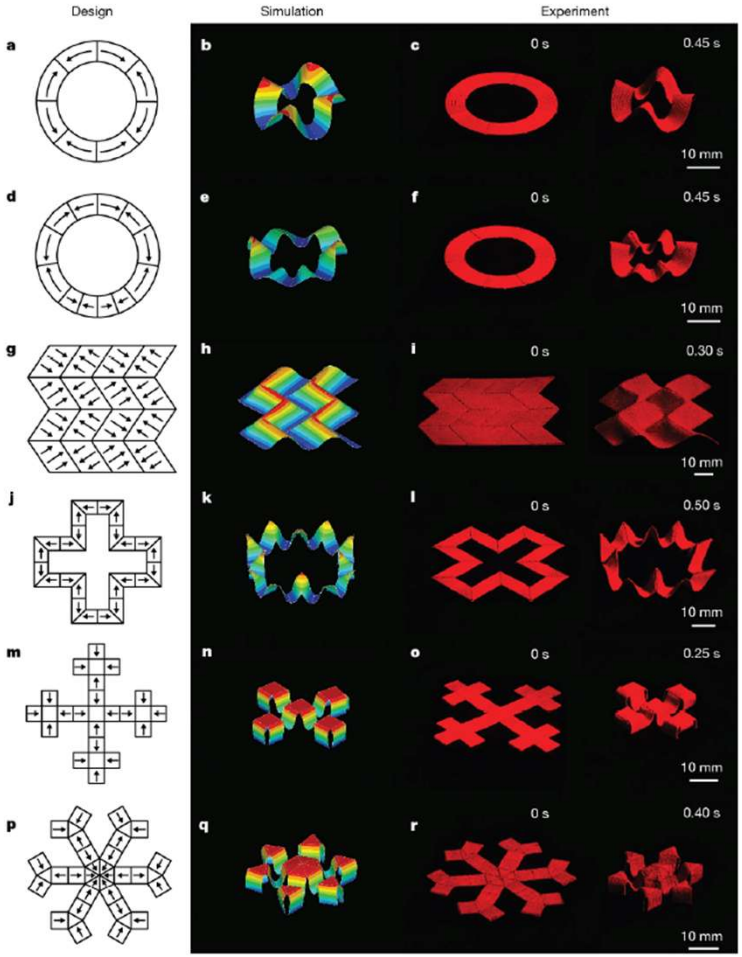
Come già accennato, sono necessari modelli teorici/matematici
e metodologia di progettazione per prevedere con precisione
e ottimizzare lo spostamento di forma. Fondamentalmente la stampa 4D mediante lo spostamento di forma coinvolge due stati di una parte: lo stato come stampato e lo stato come trasformato Un'applicazione pratica della stampa 4D richiederà il controllo preciso di entrambi gli stati. È necessario uno strumento di progettazione basato su modelli o un modello
matematico per prevedere la forma trasformata dalla forma stampata, o ancora più auspicabile per guidare la progettazione della forma come stampata in base alla forma
come trasformata di destinazione.

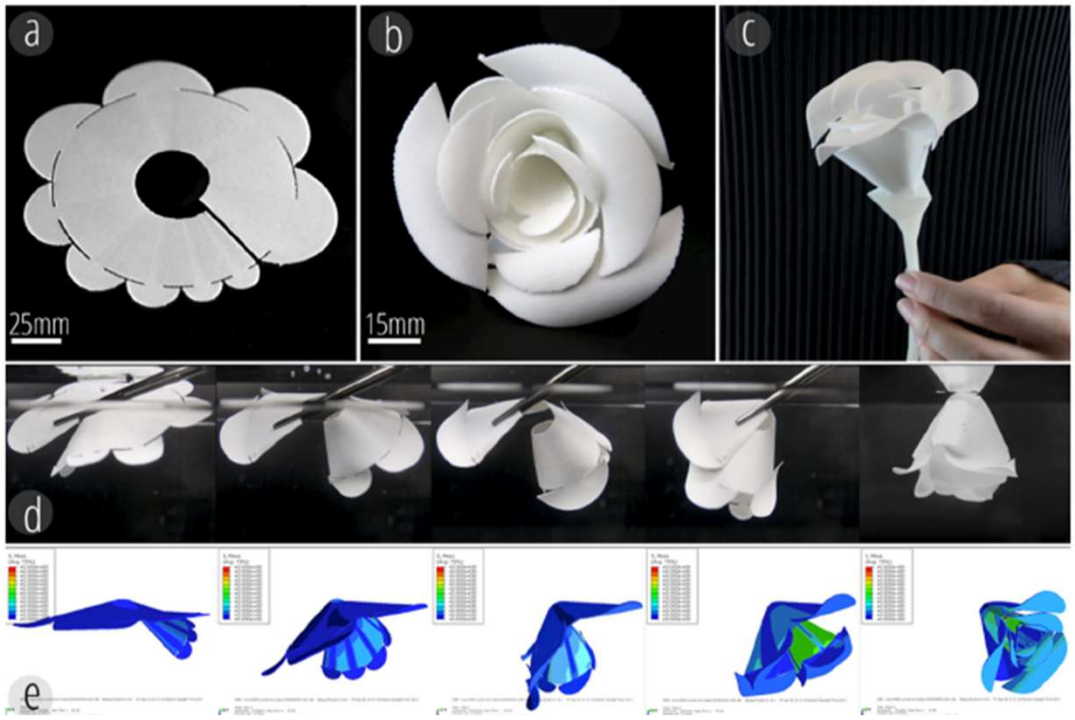


Un'altra sfida affrontata è il problema fondamentale della rapida degradazione meccanica osservata nelle parti stampate multi-materiale durante ripetuti cicli termo-meccanici.
Normalmente i componenti o i materiali realizzati con materiale attivo hanno un ciclo di vita limitato al numero di cicli termici che possono sopportare prima di diventare inutilizzabili. Questo può diventare un problema importante se si desidera utilizzare materiale di stampa 4D per varie applicazioni che richiedono una certa durata e longevità.

Un'altra limitazione delle strutture di stampa 4D è il carico meccanico che di solito deve essere applicato per passare dalla forma permanente alla forma temporanea. I lavori futuri si concentreranno sulla realizzazione di parti stampate in 4D che eliminano la necessità di carico meccanico. Ad esempio, il recente lavoro di Mao ha prodotto un composito stratificato multi-materiale con un effetto di cambiamento di forma reversibile. Ogni materiale reagisce in modo diverso agli stimoli, cambiando così comportamenti tra due configurazioni stabili e rigide senza la necessità di carico meccanico. La distribuzione spaziale controllata e le disposizioni temporali determinano anche il cambiamento di forma geometrico e temporale caratteristiche, rigidità meccanica e capacità di carico per ogni configurazione




Design
Simulation
Experiment
a
b
c
0 s
0.45 s
10 mm
d
e
f
0 s
0.45 s
10 mm
g
h
i
0 s
0.30 s
10 mm
j
k
l
0 s
0.50 s
10 mm
m
n
o
0 s
0.25 s
10 mm
p
q
r
0 s
0.40 s
10 mm


a
25mm
b
15mm
c
d
e

https://www.youtube.com/watch?v=hi8QQ89kzho
https://www.youtube.com/watch?v=giJgV68KcIU
TED: https://www.youtube.com/watch?v=0gMCZFHv9v8
https://www.youtube.com/watch?v=gxw8XbGG8XU
Programmable textiles: https://www.youtube.com/watch?v=GIyGH1VAk4U
Programmable wood: https://www.youtube.com/watch?v=3pMPWdQf-Mk
from 4D to Design: https://www.youtube.com/watch?v=1Nzs0NPy_X0
https://www.youtube.com/watch?v=CTj9sCFgdwU
https://www.youtube.com/watch?v=Qmuf_6h7KI8