

POLITECNICO DI TORINO

Dipartimento di Ingegneria Meccanica ed
Aerospaziale

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Meccanica

Tesi di Laurea Magistrale

**Progettazione di un gripper
modulare multi-materiale da
realizzare mediante fabbricazione
additiva.**



Relatore:

Prof. Paolo Minetola

Candidato:

Valentina APICELLA
matricola: 217788

ANNO ACCADEMICO 2017-2018

*A voi per sempre.
Mamma, papà e Luca.*

Ringraziamenti

Lavorare a questa tesi è stato devo dire molto piacevole, quindi la prima persona che vorrei ringraziare è il mio Professore Paolo Minetola, per avermi seguita nonostante il mio disordine e i continui atti di stalkeraggio attuati nei suoi confronti, mi ha trattata sempre con estrema gentilezza e disponibilità. In generale il mio ringraziamento va a Polito, che mi ha permesso di vivere un'esperienza accademica bellissima e indimenticabile, nonostante le innumerevoli ore che mi sono servite di "fondoschiena sulla sedia" per il superamento degli esami. Le persone che mi vengono immediatamente in mente sono quelle con cui ho vissuto ansie e paure, ma anche tanto divertimento, quindi il mio pensiero va a tutti i miei colleghi di corso, in particolare a Dany , che è diventata con il tempo una vera amica per me, e resterà per la sua dolcezza e bellezza interiore per sempre nel mio cuore. Le altre persone con cui ho vissuto momenti belli e brutti in questi 3 anni sono quelle che hanno popolato la casa di corso Monte Cucco 125, vorrei quindi ringraziare Angela , Ema e il novello Luca, che mi conoscono come quella che fa cose strane e le fa di notte, ma soprattutto la mia Giadina, un metro e 50 di pura forza, vivere con lei è stato come avere la sorella minore che non ho mai avuto, ognuna sa dell'altra i più intimi segreti e le più strambe abitudini, ci siamo fatte compagnia quando ci sentivamo sole e ci siamo servite perchè sapevamo in fondo che a casa c'era sempre qualcuno che ci aspettava per consolarci o gioire insieme, ti voglio bene.

Ringrazio i miei nuovi amici del Fablab Torino, per le ore che passiamo insieme a fantasticare e ad infognarci su idee fantasiose, quasi volessimo cambiare il mondo, ed è bellissimo.

Non mi resta che passare alla famiglia quindi vorrei ringraziare tutti i miei zii, zie e i miei amatissimi cugini scoppiati Gaietta, Simo e Pallina, in particolare però vorrei ringraziare zia Tetta che mi ha continuamente pensato in questo percorso di studio ed ha tifato per me, i tuoi pensieri mi sono arrivati tutti.

Ringrazio le mie nonne Raffaella e Antonietta a cui vorrei, ma non posso dire più quanto le pensi, ma sono certa che loro sanno tutto quello che sento.

Ringrazio le mie amiche del cuore Polpettina e Maggie che mentre io giocavo a diventare ingegnere hanno messo su famiglia, mi mancate tanto.

Ringrazio la mia cognatina Virginia, per avermi ascoltato ogni volta che avevo un nuovo problema, grazie.

Ringrazio la mia famiglia astigiana, siete fantastici, ma soprattutto il mio amore bellissimo che ogni giorno mi fa sentire a casa , anche se non sono a casa mia , e mi riempie il cuore di amore e dolcezza, so che è orgoglioso di me e crede tanto nelle mie capacità, perciò grazie amore.

Questa esperienza mi è costata tanto , la cosa che è mi è costata di più e continuerà a costarmi sempre è aver lasciato la mia famiglia per inseguire le mie ambizioni, infatti questa tesi , ma tutto il mio percorso, gli sforzi e le difficoltà superate sono dedicate solo a voi, Mamma ,Papà e Luca, che oltre ad avermi sostenuto economicamente, avete sempre continuato a credere in me, nelle mie capacità soprattutto quando ero io a non crederci ormai più, siete la mia famiglia e non avrei potuto desiderare di meglio, spero nel futuro di riuscire ,come avete fatto voi, a costruire qualcosa del genere, vi amo per sempre.

Un ringraziamento particolare va a Torino, alla musica e allo sport, che sono state i miei unici compagni quando mi sono sentita sola, le passeggiate in centro con le luci della sera e la magia che avvolge questa città, la musica che al mattino in tram mi ha sempre fatto estraniare dalla confusione esterna e mi lasciava nel mio mondo tranquillo, lo sforzo dello sport in cui fin quando ho potuto lascio andare lo stress e l'ansia.

Infine concedetemi di fare un ringraziamento che aspettavo da tanto, vorrei ringraziare Valentina , ma non la parte che vedete tutti quella solare, forte e un pò idiota, vorrei ringraziare quella Valentina che ha sempre paura, è angosciata e triste, perchè è lei che nonostante tutto non ha mai smesso di crederci e di lottare per sé stessa, ed è solo grazie a lei se sono qui oggi per festeggiare con voi e per mangiare a fette la torta buonissima della vita!

Sommario

La tematica principale di questo lavoro di tesi è quella dell'affrontare un nuovo tipo di progettazione che esula dalla classica progettazione meccanica, ma che si adegua alle esigenze e alle tecnologie del momento. Il primo punto focale è stato quello di sfruttare le caratteristiche dei materiali a favore dell'utente, in particolare non solo dal punto di vista di resistenza a sollecitazioni meccaniche, resistenza a temperatura oppure all'usura, ma l'obiettivo è stato quello di sfruttare il materiale come vero e proprio meccanismo. Il secondo punto focale è che il progetto possa essere prodotto mediante fabbricazione additiva, tecnologia che sulla quale il mercato odierno sta iniziando a puntare molto sia dal punto di vista prototipale, ma in alcuni casi come quello del settore aerospaziale per la produzione effettiva. Il lavoro viene introdotto da una panoramica su come e perchè storicamente si è arrivati al discorso additive manufacturing, e quali sono i nuovi materiali proposti dai colossi presenti sul mercato del settore. Successivamente viene presentata una carrellata di articoli e testimonianze scientifiche sui i nuovi approcci verso l'uso dei materiali ,in particolare vengono richiamati concetti come metamateriali, materiali riconfigurabili , stampa 4d. Nel terzo capitolo , sono state inserite le prime prove di progettazione per oggetti ipoteticamente producibili in bi-materiale, questo perchè per il progetto effettivo di questo lavoro di tesi si ci è proposti di utilizzare per la produzione lo stampaggio 3d , ossia la FDM bi-materiale. Nel quarto capitolo si è esposto il percorso logico della progettazione , ossia i vari passaggi che sono serviti per ottenere il gripper bi-materiale, andando a ridurre sempre più il meccanismo classico e tramutandolo in un concetto di metamateriale meccanico che sfruttasse la rigidità e la flessibilità dei materiali usati a seconda della necessità . Il capitolo che segue va a documentare la produzione effettiva del prototipo mediante FDM, e i ragionamenti attuati per l'ottimizzazione del processo. Il lavoro si chiude con un capitolo dove vengono esposte le conclusioni tratte alla fine della produzione, in particolare le problematiche riscontrate e un' occhiata a quali potrebbero essere gli sviluppi futuri.

Indice

Ringraziamenti	v
Sommario	vii
Acronimi	x
1 Introduzione	1
2 I metamateriali	7
2.1 Metamateriali ad elasticità variabile	13
2.2 I metamateriali	16
2.3 I metamateriali tridimensionali	18
2.4 Metamateriali riconfigurabili	21
2.5 Metafluidi: Materiali Pentamode	22
2.6 La stampa 4D	25
2.7 Materiali e tecniche di stampaggio 3D	26
2.8 Ninjaflex	30
3 Possibili componenti stampati in bimatereiale	33
3.1 Gancetto	33
3.2 Meccanismo semplice con aste	35
3.3 Peucellier's mechanism	37
3.4 Catapulta	39
4 Progettazione prototipo	53
4.1 Soft Robotics	53
4.2 Il gripper dell'azienda Soft Robotics Inc.	57
4.3 Il progetto del gripper	60
4.3.1 Celle per metamateriali	60
4.4 Il prototipo	63

4.5	Relazioni analitiche della struttura	64
4.6	Angoli modulari	67
4.7	Ganci modulari	68
4.8	Il Telaio	71
4.9	La simulazione	71
5	Produzione prototipo	77
5.1	La macchina	77
5.2	La stampa del componente bi-materiale	77
5.3	Il prototipo completo	81
6	Conclusioni	87
6.1	Risultati	87
6.2	Problematiche risolte	87
6.3	Sviluppi futuri	88
	Bibliografia	89

Elenco delle figure

2.1	Jansen Walker	8
2.2	Il chiavistello	8
2.3	Meccanismo che ricopia disegni	8
2.4	Pinze	9
2.5	La cella rigida	9
2.6	editor	9
2.7	metamateriale con cella di bit	10
2.8	cella	11
2.9	metamateriale	12
2.10	La cella singola	13
2.11	Celle affiancate	13
2.12	cubo di metamateriale	14
2.13	materiale riprogrammabile	14
2.14	panoramica sistema	14
2.15	Pinze soft	15
2.16	esempi con riempimento differente	16
2.17	schema metamateriali	17
2.18	cella unitaria a	18
2.19	cella unitaria b	18
2.20	cella unitaria c	19
2.21	unione delle celle	19
2.22	grande variazione di volume	20
2.23	cella con attuatori	20
2.24	metamateriale con attuatori	21
2.25	cella riconfigurabile a	22
2.26	cella riconfigurabile b	22
2.27	cella riconfigurabile c	23
2.28	cella riconfigurabile d	23
2.29	cella riconfigurabile e	23
2.30	Metafluido	24

2.31	Cella di Metafluido	25
2.32	materiale 4d	27
2.33	Materiali per stampa 3d	28
2.34	Utilizzo delle tecniche di stampa 3D	29
2.35	Tabella 1	30
2.36	Tabella	31
2.37	Sospensione mountain bike	32
2.38	Linea di produzione	32
2.39	Aspirazione del materiale	32
3.1	Gancetto	34
3.2	gancetto forze e vincoli	35
3.3	Gancetto Mesh	36
3.4	Sollecitazione	37
3.5	Deformazione	38
3.6	Spostamento	39
3.7	Meccanismo con aste	40
3.8	Modellazione	40
3.9	Parte flessibile	41
3.10	Parte flessibile e rigida	41
3.11	Forze e vincoli	42
3.12	Mesh	42
3.13	Sollecitazione	43
3.14	Defomazione	44
3.15	Spostamento	45
3.16	Meccanismo	45
3.17	Modellazione	46
3.18	Vincoli e forze	46
3.19	Mesh	47
3.20	Sollecitazione	47
3.21	Deformazione	48
3.22	Spostamento	48
3.23	Modellazione	49
3.24	Parti flessibili e rigide	49
3.25	Vincoli e forze	50
3.26	Mesh	50
3.27	Sollecitazione	51
3.28	Spostamento	51
3.29	Deformazione	52
4.1	Polpo soft	54
4.2	Robot chirurgico	54
4.3	Mano robotica	55
4.4	Soft robot invisibile	56

4.5	Soft robot in gomma siliconica	56
4.6	esempio a	56
4.7	esempio b	57
4.8	esempio c	57
4.9	esempio d	58
4.10	esempio e	58
4.11	gripper	58
4.12	Control Unit	59
4.13	prototipo iniziale	60
4.14	prototipo iniziale	61
4.15	sezione prototipo iniziale	61
4.16	tipo 1	62
4.17	tipo 2	62
4.18	tipo 3	63
4.19	cella	63
4.20	prototipo meccanismo	64
4.21	PETG	65
4.22	TPU	65
4.23	schema	66
4.24	esempio	67
4.25	Gripper con attacco per gancio modulare	68
4.26	Forme da agganciare	69
4.27	Braccetto per gancio modulare	69
4.28	Braccetto con battuta per gancio modulare	70
4.29	gancio per cono	70
4.30	gancio per cilindro	70
4.31	Telaio	71
4.32	Telaio con gripper per cilindro	72
4.33	Sforzi	73
4.34	Spostamento	74
4.35	Deformazioni	75
5.1	3ntr	78
5.2	3ntr	78
5.3		80
5.4		80
5.5		81
5.6		81
5.7		81
5.8		82
5.9		82
5.10		82
5.11		83

5.12 stampaggio bi-materiale	83
5.13 prototipo macrocella	84
5.14 gancetti per cono	84
5.15 braccetto	85
5.16 Telaio	85
5.17 Telaio con macrocelle	85
5.18 Prototipo completo modulare stampato	86

Acronimi

ABS acrilonitrile-butadiene-stirene

CAD Computer-Aided Drafting

CPE Chlorinated Polyethylene

ETH Eidgenössische Technische Hochschule Zürich

FDM fused deposition modeling

HIPS polistirene antiurto

HPI Hasso plattner institute

IST Institute of Science and Technology

NFC near-field communication

PET polietilene

PETG polietilene tereftalato

PLA acido polilattico

PS polistirene

PVA alcol polivinilico

SMP shape memory polymers

TPE termoplastico elastomerico

Capitolo 1

Introduzione

L'invenzione della stampa

L'invenzione della stampa ha permesso all'uomo di "fermare" il tempo e tramandare, di generazione in generazione, favole, racconti e spiegazioni scientifiche. Senza la stampa i grandi sviluppi tecnologici che hanno contraddistinto l'umanità negli ultimi secoli, sarebbero stati molto più complessi da raggiungere: grazie alla divulgazione della carta stampata la conoscenza ha potuto viaggiare agevolmente, raggiungendo ogni angolo del pianeta. La storia della stampa è caratterizzata da un susseguirsi quasi ininterrotto di diverse tecnologie: con il passare del tempo le tecniche si sono affinate e gli strumenti utilizzati si sono modificati o sono stati definitivamente abbandonati a causa della comparsa di nuove tecnologie e macchinari di stampa. Un punto di svolta si ha con Gutenberg e l'invenzione della stampa a caratteri mobili: dai libri trascritti a mano si passa a dispositivi meccanici in grado di riprodurre velocemente qualunque tipo di testo. Negli ultimi anni, l'elettronica e la miniaturizzazione hanno permesso di fare letteralmente dei passi da gigante. Si pensi alle prime stampanti ad aghi degli Anni '80 per arrivare alle stampanti laser dei nostri giorni: un'evoluzione velocissima e senza sosta. Il passo immediatamente successivo è quello della stampa 3D, che permetterà di produrre di tutto in casa: dal cibo agli utensili, dalle automobili alle abitazioni. Il futuro della storia della stampa non è ancora ben definito, ma il presente è guidato dalla stampa 3D. Fu inventata nel 1984 da Chuck Hull, venne presentata alla stampa solo due anni più tardi, mentre il primo prodotto commercializzato fu nel 1988. Sono trascorsi più di venti anni affinché la stampa 3D si è affermata come fenomeno di massa, grazie allo sviluppo di periferiche dal costo contenuto. Le stampanti 3D danno la possibilità

all'utente di realizzare un qualsiasi prodotto sia stato progettato su un software di grafica. Una rivoluzione che ha portato la stampa a modificare i processi produttivi di moltissimi settori economici.

Materiali innovativi di Stratasys

La additive manufacturing è una branca tecnologica che racchiude moltissimi tipi di tecnologie di stampa e moltissime possibilità a livello di materiali stampabili. Nell'ambito di questo lavoro di tesi la tecnologia considerata sarà la FDM ed i materiali stampati saranno materiali plastici. La ricerca nell'ambito dei materiali stampabili mediante FDM è in continua corsa per tale motivo sembrava giusto menzionare alcuni degli ultimi ritrovati in tale settore, da un'azienda leader come la Stratasys. Stratasys ha annunciato due nuovi materiali innovativi: il Nylon 12CF FDM, un materiale termoplastico caricato con fibra di carbonio tanto robusto da poter sostituire componenti metallici in un'ampia gamma di applicazioni e, per il processo PolyJet, l'Agilus30, una linea di materiali flessibili e resistenti nel tempo, capace di sopportare ripetute sollecitazioni di flessione senza subire rotture o deformazioni.

Nylon 12CF

Il primo materiale composito ad alte prestazioni, capace di sostituire il metallo in diverse applicazioni, è a disposizione della tecnologia FDM di Stratasys: il Nylon 12CF FDM è ideale per prototipazioni rapide, per la produzione di attrezzi robusti e leggeri, oppure di prodotti finiti. Composto da fibra di carbonio al 35 per cento, il Nylon 12CF è il materiale termoplastico FDM di Stratasys che offre un buon rapporto rigidità/peso, rispondendo alle esigenze di prestazione funzionale dei settori più diversi, da quello automobilistico a quello aerospaziale, dai beni ricreativi alla manifattura industriale. Riveste particolare interesse per i seguenti utenti e campi di utilizzo:

- bisogno di produrre rapidamente componenti robusti, leggeri e rigidi per la prototipazione funzionale, in modo da ridurre i tempi di immissione sul mercato.
- nella produzione di attrezzaggi come stampi e strumenti, dove è richiesto l'impiego di materiali ad alta rigidità e robustezza con un grande vantaggio in termini di riduzione del peso rispetto ai componenti in metallo.
- componenti su scala ridotta con requisiti strutturali specifici che necessitano di un elevato grado di rigidità.

Utah Trikes, cliente beta del Nylon 12CF FDM, sta sfruttando le proprietà del materiale in fase di progettazione e produzione per ridurre in modo significativo i tempi di sviluppo del prodotto. Molte parti dei prodotti Utah Trikes possono essere prototipate sostituendo i componenti metallici e sagomati, ottenendo così un'accelerazione e un'ottimizzazione del processo. "L'eccezionalità del Nylon 12CF FDM in termini di robustezza e di rapporto rigidità/peso ha cambiato le carte in tavola. Adesso possiamo prototipare quasi ogni parte del nostro prodotto con le stampanti 3D FDM di Stratasys in meno di due settimane, mentre in passato lo stesso processo richiedeva più di due mesi" afferma Ashley Guy, presidente e CEO di Utah Trikes. "In fase di progettazione non devo più sottostare a limiti di prototipazione. Adesso posso concentrarmi più liberamente sul design di parti più funzionali senza dovermi preoccupare di come modellare l'alluminio o come inserire la stratificazione di fibra di carbonio all'interno degli stampi. Lo stampaggio in 3D di componenti in Nylon 12CF FDM di Stratasys avviene più velocemente, con più alte prestazioni di rigidità/peso e con una migliore ripetibilità rispetto a qualsiasi altra tecnologia di stampa 3D o fornitura mai vista," prosegue Guy. "Siamo convinti che l'incredibile rapporto rigidità/peso del Nylon 12 CF FDM rivoluzionerà molti settori industriali, dai beni di consumo e ricreativi all'industria automobilistica e aerospaziale" sostiene Zehavit Reisin, VP e responsabile della prototipazione rapida di Stratasys. "Consentirà ai designer di sviluppare progetti più pratici e funzionali con una riduzione dei tempi di immissione sul mercato, senza doversi preoccupare di come prototipare determinati componenti utilizzando materiali metallici o di come sagomarli". Secondo Tim Schniepp, responsabile per le soluzioni di attrezzaggio di Stratasys, "L'elevato rapporto rigidità/peso del Nylon 12CF FDM lo rende particolarmente adatto a un'ampia gamma di applicazioni per prodotti finiti e strumenti di produzione in cui la combinazione di rigidità, robustezza e leggerezza rappresenta un fattore critico per il conseguimento di alte prestazioni. Gli esempi sono tanti: guide di foratura, terminali di robot, supporti, stampi, strumenti e persino attrezzi per la sagomatura dei metalli". Distribuito verosimilmente a partire dal mese di Ottobre 2017, il Nylon 12CF FDM è disponibile per la stampante 3D Stratasys Fortus 450mc ed è compatibile con il supporto solubile SR-110. Il materiale può produrre parti sovrapponendo strati dello spessore di 0,254 mm .

Agilus30

La serie di materiali Agilus30 nasce dalla volontà di dare possibilità agli ingegneri di simulare materiali flessibili o gommosi. Questi materiali offrono molta più libertà in termini di manipolazione e in fase di sperimentazione di parti flessibili e prototipi, assicurando al stesso tempo maggiore precisione, accuratezza dei dettagli

e un notevole effetto di realismo. Scelta eccellente per modellare componenti delicati sottoposti a ripetute sollecitazioni di flessione e curvatura, la serie Agilus30, con prestazioni del tutto simili alla gomma e compatibili con un supporto solubile, saranno di sicuro interesse per responsabili di prototipazione rapida. Diverse sono le applicazioni che possono usufruire delle proprietà dell'Agilus 30, come il sovrastampaggio, soft-touch e le cerniere integrali. L'Agilus30 può essere abbinato ad altri materiali per la composizione di un'ampia gamma di materiali digitali con una grande varietà di valori di durezza, forme e colori. L'Agilus30, compatibile con Objet 260, 350, 500 e con le piattaforme di stampa 3D Connex 1/2 di Stratasys, è già in distribuzione.

Le stampanti con doppio estrusore

Questo lavoro di tesi si propone l'obiettivo di andare a valutare quali potrebbero essere i vantaggi di un processo di stampa bi-materiale, dunque è bene fare dei richiami.

In commercio ci sono prevalentemente stampanti a singolo estrusore. Nell'ambito del processo il doppio estrusore ha due funzionalità:

- Costruire componenti con più colori, uno per ogni filamento differente.
- Avere il secondo ugello caricato con filamento di PVA. La caratteristica interessante del PVA è che è un filamento idrosolubile, per cui è sufficiente immergerlo in acqua per far sì che si scioglia. Per tale motivo viene usato per costruire dei supporti che permettano la creazione di strutture a sbalzo, sottosquadra o l'una nell'altra.

Il produttore olandese Ultimaker ha organizzato da pochi mesi la presentazione delle sue nuove Ultimaker 3 e Ultimaker 3 Extended. I due nuovi modelli introducono una grande novità nella gamma: il doppio estrusore. Potrebbe sembrare una novità da poco, visto che la concorrenza offre questa funzionalità già da anni, ma è la particolare implementazione a rappresentare un punto di svolta per il produttore. Uno dei classici problemi delle stampanti a doppio estrusore è la possibilità che l'uno interferisca con l'altro, visto che sono posizionati circa alla stessa quota di lavoro. Inoltre se uno dei due estrusori ha una 'bava' di filamento non completamente estruso essa può attaccarsi al pezzo e rovinare il lavoro dell'altro. Ultimaker ha risolto il problema studiando un meccanismo che rende basculante il secondo estrusore. Quando non è in uso si trova diversi millimetri al di sopra di quello principale, mentre quando deve cominciare a estrarre materiale un sistema di leve lo posiziona qualche centimetro al di sotto del primo. In questo modo i due non interferiscono l'uno con l'altro e anche eventuali residui di

filamento non vanno rovinare la stampa. E' stato dimostrato, nei test effettuati in fase di studio, che il sistema sopporta senza problemi più di 750.000 spostamenti, inoltre per minimizzare l'usura la macchina effettua il cambio di estrusore ogni due livelli invece che dopo la deposizione del singolo livello. Il lavoro sul corpo di stampa non si è concentrato solo sul meccanismo di spostamento del secondo estrusore, ma si è lavorato anche per rendere tutto più semplice e funzionale. Per mantenere la testa di stampa leggera sono state ridotte al minimo le viti, mentre per il raffreddamento ora si trovano tre ventole a turbina. Quest' ultime sono tenute in sede da uno sportello magnetico, che elimina le viti e permette un accesso più veloce alla testa di stampa. Gli estrusori possono essere estratti e cambiati senza dover svitare nessuna vite, essendo mantenuti in sede da guide, magneti e un meccanismo a scatto. Questa è la seconda grande novità dei due nuovi modelli, che vedono gli estrusori intercambiabili e studiati ad hoc per i diversi materiali. Gli estrusori sono di due tipi, uno generico per tutti i materiali (PLA, ABS, CPE, Nylon) e uno dedicato al PVA solubile, materiale utilizzato per i supporti. Non c'è possibilità di errore poiché ogni estrusore integra una eeprom con i suoi dati e il caricamento dei filamenti usa della tecnologia NFC, per cui la macchina riconosce automaticamente il filamento caricato e dà un segnale nel caso in cui non sia compatibile con l'estrusore. Ultimaker sta lavorando per ottimizzare ulteriormente gli estrusori per i diversi materiali ed è probabile che in futuro ogni filamento possa avere un estrusore dedicato. Tra le novità troviamo anche la connettività Wi-Fi per il controllo remoto senza fili, la videocamera per riprendere le attività di stampa in tempo reale e la porta USB, che va a sostituire lo slot per le schede SD. Nuovo anche il sensore capacitivo per l'autolivellamento del piano di stampa. Motori, piatto riscaldato, area di stampa e molti altri particolari restano gli stessi del modello precedente. Il piatto può lavorare a temperature controllate tra 20°C e 100°C, mentre l'estrusore da 180°C a 280°. L'area di stampa a singolo materiale è pari, per il modello Ultimaker 3, a 215x215x200mm e si riduce a 197x215x200mm in caso di utilizzo del doppio estrusore. Per il modello Extended, l'area di stampa è la stessa per quanto riguarda la base, ma può arrivare a 300mm sull'asse Z. I filamenti hanno un diametro di 2,85mm e generalmente la macchina utilizza estrusori da 0,4mm. Con questo estrusore Ultimaker dichiara una risoluzione di stampa di 20-200 micron, con accuratezza di 12,5, 12,5 e 2,5 micron rispettivamente sugli assi X, Y e Z. Per la creazione dei G-Code da mandare in stampa è fornito il software Cura 2.

Le macchine con estrusori multipli possono essere sfruttate per far aderire materiali diversi e sfruttare diverse rigidità.

Nel nostro caso si userà dunque una macchina doppio estrusore per ottenere diverse rigidità nel componente, il tutto riferendosi al concetto di metamateriale come meccanismo, ossia abbandonando la meccanica classica per fare spazio all'unione di materiale-meccanismo, ossia il materiale diventa anche meccanismo.

I Metamateriali

Si definisce metamateriale : " Un materiale composito artificiale la cui struttura microscopica è progettata per conferire proprietà fisiche speciali normalmente assenti sia nei singoli materiali costituenti che in quelli naturali . Sono strutture artificiali caratterizzate da proprietà meccaniche definite dalla trama ripetitiva con la quale sono disposte le 'celle' di cui sono costituiti, più che dal materiale stesso con cui sono realizzati." Partendo da questo concetto i ricercatori di tutto il mondo hanno creato materiali dal comportamento insolito: che collassano se compressi, che si deformano in due dimensioni se compressi in una sola dimensione, che mescolano strati di celle rigide e flessibili per imitare le prestazioni di altri materiali, che si comportano come 'solidi liquidi', ovvero sono difficili da comprimere ma facili da deformare. Ma l'intento dei ricercatori dell'Hasso Pratt Institute (HPI) di Potsdam, in Germania, è ancora diverso: concepire i metamateriali come macchine, cioè oggetti che permettono un movimento direzionale controllato tramite funzionalità meccaniche. Nell'utilizzo di metamateriali meccanici la sperimentazione pone l'accento sul concetto di un unico materiale costituito da celle ripetute capaci di rispondere a determinati sforzi in una determinata maniera controllata dall'utilizzatore. Lo scopo di questa tesi è quello di unire il concetto di metameccanismo al concetto di bi-materiale. Come nel caso dei metamateriali in elettronica avviene l'inserimento di circuiti, in particolare, con il termine "metamateriali" in elettronica ci si riferisce a quella vasta gamma di materiali elettromagnetici che sono prodotti artificialmente e quindi non esistenti in natura, sintetizzati mediante l'inserimento di strutture conduttrici di particolare forma e dimensione in un mezzo dielettrico che li ospita. La forma, le dimensioni, la struttura, l'orientamento e la disposizione di tali inserti sono studiate per modificare le caratteristiche elettromagnetiche del dielettrico ospitato e ottenere proprietà particolari per le applicazioni d'interesse non realizzabili altrimenti con mezzi convenzionali. La caratterizzazione di questi materiali è diventata necessaria negli ultimi anni, principalmente per il fatto che le tecnologie di produzione hanno consentito di raggiungere risultati insperati da poco tempo a questa parte. Alla stessa maniera con la quale nei metamateriali elettrici si cercano di miscelare più componenti al servizio della funzionalità, così per questo lavoro di tesi si è cercato di miscelare materiali rigidi e flessibili per rendere il componente meccanicamente funzionale al servizio dell'utente.

Capitolo 2

I metamateriali

I Metaobjects

Una delle nuove concezioni dello stampaggio 3D permette agli oggetti realizzati di essere resistenti e deformabili allo stesso momento. Recentemente, i ricercatori del Hasso Plattner Institute in Germania hanno iniziato ad ingegnerizzare non solo la forma esteriore degli oggetti, ma anche la loro microstruttura interna. Tali oggetti, in genere costituiti da celle 3D, sono noti anche come metamateriali ossia strutture artificiali con proprietà meccaniche definite dall'uso ripetitivo delle celle, piuttosto che dalla composizione del materiale costituente.

Spingendo l'idea di metamateriale verso il concetto di oggetti che consentono un movimento direzionale controllato, si può consentire agli utenti di realizzare pezzi atti ad eseguire le funzioni meccaniche desiderate implementando così dispositivi con forze e movimento in input, che sono trasformate in un set specifico di forze e movimento in output, creano cioè un meccanismo.

Tali meccanismi sono costituiti da un unico blocco di materiale, dove le celle giocano insieme in maniera ben definita per realizzare un movimento macroscopico.

Nasce così il concetto di metaobject.

Dalla ricerca dell'Hasso Plattner Institute riportiamo la serie di casi studiati a titolo esplicativo.

- Il meccanismo Jansen walker (Fig. 2.1);
- Il chiavistello(Fig. 2.2);

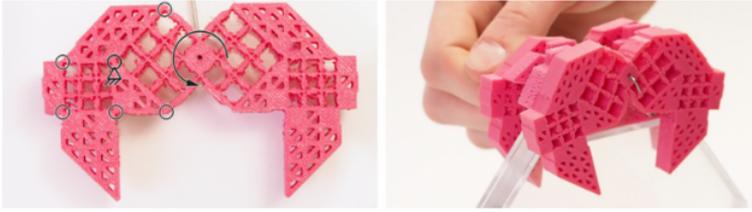


Figura 2.1: Jansen Walker

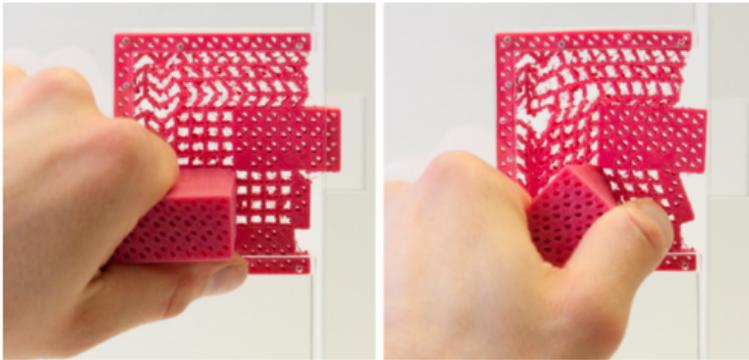


Figura 2.2: Il chiavistello

- Meccanismo che ricopia disegni(Fig. 2.3);

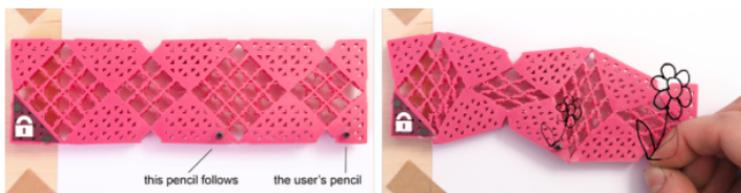


Figura 2.3: Meccanismo che ricopia disegni

- Pinze(Fig. 2.4);

L'elemento chiave dietro i meccanismi di meta-materiali è un particolare tipo di cella(Fig. 2.5), la cui unica abilità è la deformazione a taglio. A differenza di una cella rigida, questa cella è progettata per deformarsi quando viene applicata una forza di taglio, che permette un movimento direzionale controllato.



Figura 2.4: Pinze

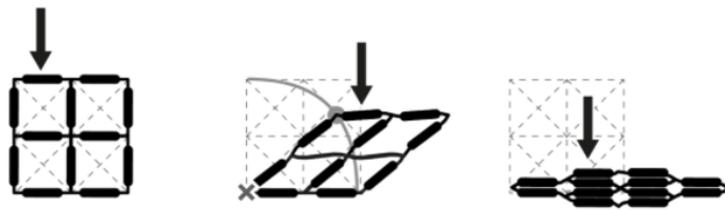


Figura 2.5: La cella rigida

Al fine di consentire agli utenti di creare meccanismi meta-materiali in modo efficiente è stato implementato un editor 3D (Fig. 2.6)specializzato per la creazione di celle.

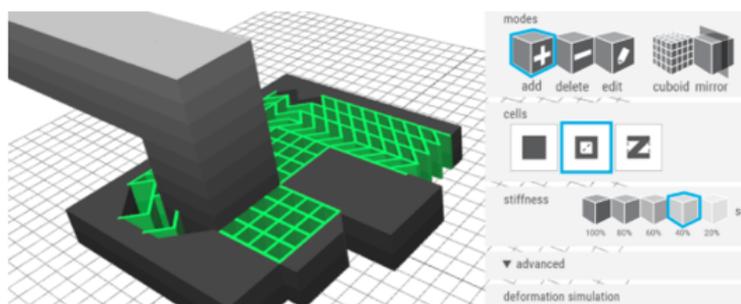


Figura 2.6: editor

Metamateriali meccanici digitali

Il gruppo di ricercatori dell' Hasso Plattner Institute in Germania ha inoltre messo a punto nel 2017 una tecnica per la stampa 3D di "metamateriali meccanici digitali", che possono essere utilizzati per creare dispositivi complessi (Fig. 2.7). I metamateriali contengono delle celle molla che possono innescare i segnali digitali.

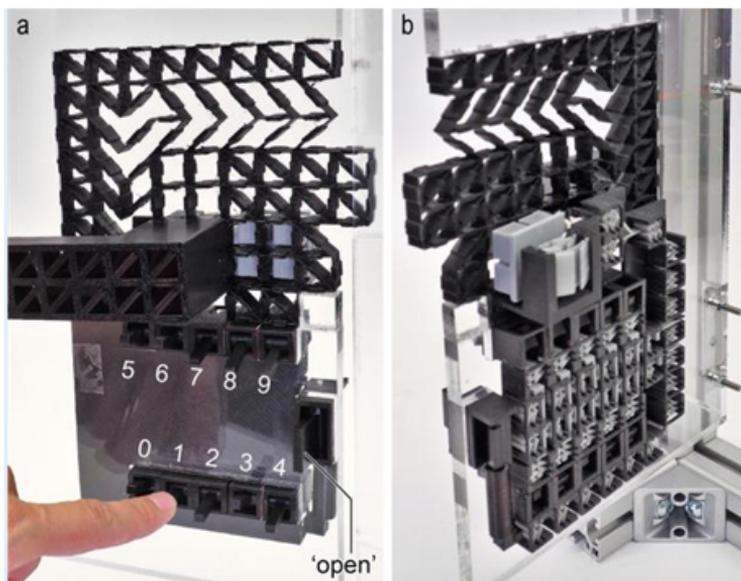


Figura 2.7: metamateriale con cella di bit

Avendo sviluppato una tecnica di stampa 3D incredibile per la creazione di strutture meccaniche, con la loro ricerca sullo stampaggio 3D di strutture uniche costituite da centinaia di "celle", che sarebbero capaci di deformare in modo preciso quando sotto pressione, permettendo all'intera struttura di comportarsi come un dispositivo meccanico di più parti. Dopo l'esempio del meta-chiavistello sopra citato, i ricercatori sono tornati su quel progetto con un nuovo documento di ricerca che aggiunge un elemento completamente nuovo per i metamateriali. In particolare, hanno introdotto un nuovo tipo di cella (Fig. 2.8) in grado di inviare un segnale meccanico digitale utilizzando una molla bistabile integrata. Quando attivata, questa molla incorporata, con un impulso innescava una o più celle adiacenti, con conseguente propagazione del segnale. Ciò significa che i dispositivi 3D stampati

realizzati con i metamateriali possono incorporare funzioni logiche "semplici", in aggiunta alla meccanica. Ed è in pratica possibile che il chiavistello intelligente con tale sistema possa essere bloccato e sbloccato con un codice combinato.

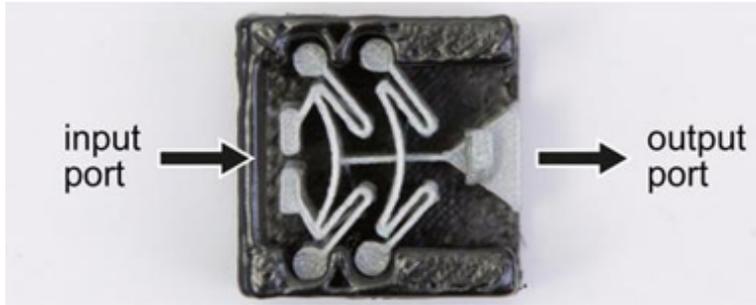


Figura 2.8: cella

La pietra angolare di questa nuova ricerca è la cosiddetta cella di bites incorporata nelle strutture 3D di metamateriale. Queste celle contengono una molla bistabile, che permette loro di assumere due stati discreti: stato di tensione, prima di essere attivate; e di rilassamento, dopo l'attivazione. Ciascuna di queste celle ha una porta di ingresso e di uscita, che gli permette di ricevere e trasmettere il segnale d'innescò. Fissando una serie di queste celle su di una linea si ha possibilità quindi di creare un meccanismo di propagazione del segnale.

I ricercatori hanno dimostrato l'enorme potenziale di questa tecnologia con combinazione, creando un complesso sistema di celle ad 82 bit in grado di valutare la combinazione immessa, innescando il meccanismo di sblocco se il codice è corretto o impedendo l'apertura della porta, nel caso opposto. Il programma di editing che può essere utilizzato per modellare in 3D strutture meccaniche con le celle controllabili, comprende anche le celle a molla appena esposte. Il duro lavoro è quindi curato dal software: gli utenti possono semplicemente mettere in ingresso diverse funzioni logiche, che possono poi essere convertite in accoppiamenti di celle che implementano la funzione.

I materiali macchina

Un esempio di tecnologia affine a quella precedentemente illustrata nasce dalle ricerche dei fisici dell'Università di Leida e dell'Università di Tel Aviv. Il concetto si basa sul principio secondo il quale sulla superficie di un cubo, apparentemente

normale di metamateriale(Fig. 2.9) , si ottengono un insieme di avvallamenti e rigonfiamenti quando esso è in compressione. I fisici dell' Università di Leida insieme ai colleghi della Tel Aviv University hanno sviluppato un metodo per la progettazione di tali strutture tridimensionali, spianando la strada per l'uso di materiali "macchina" applicabili al settore delle protesi e dei materiali indossabili. Un metamateriale meccanico è costituito dallo stesso blocco costruttivo che si ripete più e più volte(Fig. 2.10)(Fig. 2.11) ,come conseguenza il materiale risulta essere omogeneo ed ha le stesse proprietà in ogni parte. Esso così progettato può evolversi in modelli geometrici complessi.

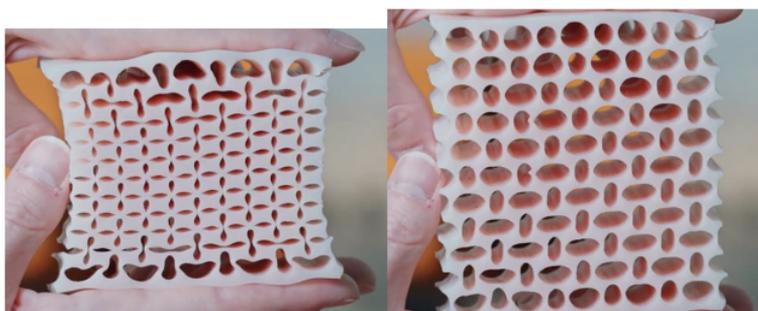


Figura 2.9: metamateriale

L'obiettivo dello studio è quindi portare un metamateriale comune a spingersi verso la possibilità di un modello più complesso. Si è passati attraverso vari steps:

- Il primo step è stato costruire un blocco funzionale che ha la forma di un cubo flessibile;
- il secondo step è stato di assemblare due cubi in maniera tale da ottenere un metacubo;
- il terzo di assemblare un cubo 3D(Fig. 2.12)(Fig. 2.13) di metamateriale che una volta compresso cambia in un modello di forma più complesso ed omogeneo;

Successivamente è stata presa in considerazione l' idea di cambiare l'orientamento dei due cubi che formano il metacubo, che in compressione vanno a sporgere sulla superficie del cubo 3D di materiale, quindi a seconda dell'orientamento dei cubi possiamo ottenere la texture desiderata in superficie. Si ottiene così un materiale macchina , il cui corpo potrebbe essere sempre in movimento, se lo si pensa applicato a campi quali quello della robotica ed in futuro a quello dei materiali riprogrammabili.



Figura 2.10: La cella singola

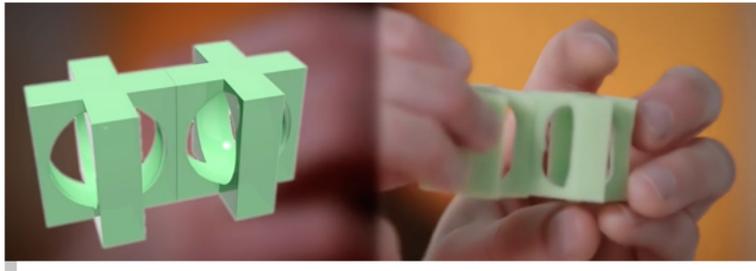


Figura 2.11: Celle affiancate

2.1 Metamateriali ad elasticità variabile

In uno studio dell' ETH ,IST Austria e Cornell University ,si propone un metodo per fabbricare oggetti deformabili con elasticità variabile ,prodotti mediante stampaggio 3D. Utilizzando un unico, relativamente rigido materiale da stampa, questo metodo assembla un insieme di piccole microstrutture complesse che danno un effetto più morbido del materiale relativamente alla scala dell'oggetto, con proprietà differenti a seconda della microstruttura utilizzata nella specifica parte dell'oggetto. Lo studio utilizza l'ottimizzazione numerica per la progettazione delle microstrutture con le proprietà desiderate, ma con la particolarità che in tal caso sono progettate famiglie di strutture correlate che possono essere interpolate agevolmente al variare delle proprietà del materiale(Fig. 2.14). Per creare un oggetto con proprietà elastiche variabili spazialmente, ed utilizzare le microstrutture prese dalle famiglie in correlazione, generando così una microstruttura diversa per ciascuna cella, è necessario utilizzare un algoritmo efficiente che selezioni le strutture

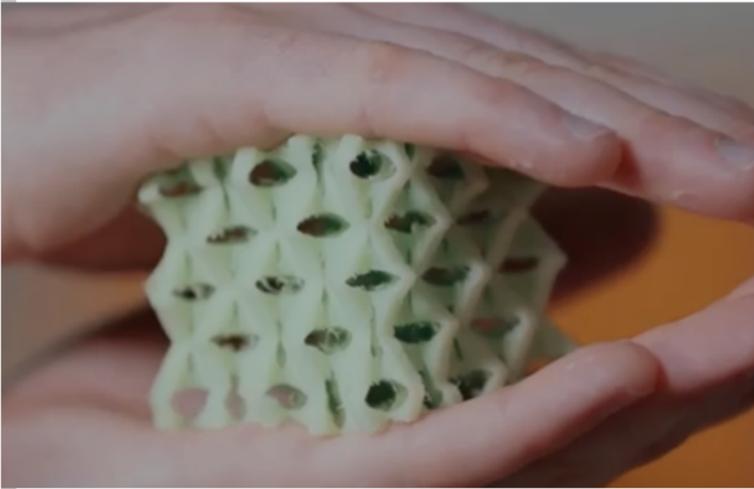


Figura 2.12: cubo di metamateriale



Figura 2.13: materiale riprogrammabile

compatibili per le cellule attigue. In figura è illustrata una panoramica del siste-

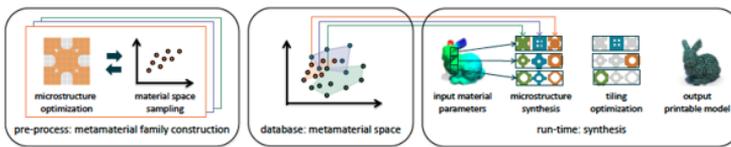


Figura 2.14: panoramica sistema

ma. In una fase di pre-elaborazione, sono calcolate le famiglie metamateriali. Ogni famiglia è composta da più microstrutture correlate che possono essere interpolate

per far variare agevolmente le proprietà del materiale. Le famiglie sono raccolte in un database. Dato quindi come input un oggetto con i parametri materiali specifici, viene sintetizzato localmente con microstrutture che ricordano il comportamento di deformazione desiderato. Dato che strutture topologicamente differenti possono avere lo stesso comportamento macroscopico, si possono potenzialmente avere più microstrutture candidate per una singola posizione. L'utilizzo di queste candidate in ogni caso deve assicurare che strutture vicine siano collegate correttamente. Infine avviene lo stampaggio del prototipo 3D fisico. Nel corso dello studio vengono mostrati alcuni esempi applicativi:

- Pinza: Ispirata al campo della robotica soft, è stata progettata una semplice pinza che può essere azionata dalla pressione dell'aria. La pinza è costituita da due tubi cavi, stampati con un materiale morbido. I tubi sono progettati come una struttura 2D di materiale rigido su una metà e materiale anisotropo per l'altra metà che è morbido lungo il tubo e rigido lungo la direzione circonferenziale. Questo è solo un semplice attuatore, ma si pensa che per il futuro tale metodo potrebbe essere un passo verso la progettazione di robot morbidi(Fig. 2.15).

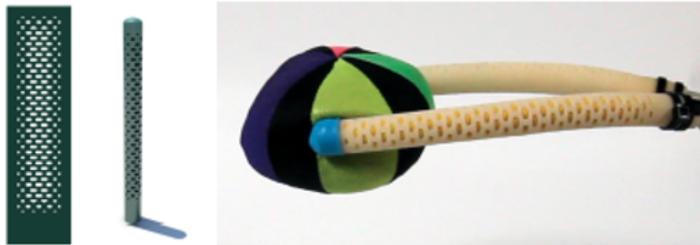


Figura 2.15: Pinze soft

- Il coniglio, l'orso e l'armadillo: Per il caso tridimensionale, il test è avvenuto su due modelli, con moduli di Young spazialmente variabili, creati con un sistema interattivo, il coniglio e l'orso. Lo spazio metamateriale utilizzato per popolare queste celle contenevano una sola famiglia di 21 microstrutture. Il terzo modello creato è stato quello dell'armadillo. La distribuzione dei parametri è stata scelta in modo tale che le articolazioni e la pancia dell'armadillo fossero morbide, mentre tutte le altre parti del modello rigide(Fig. 2.16).

Questo metodo si rivolge a dispositivi di stampa ad alta risoluzione, e che consentono una facile rimozione del materiale di supporto. In pratica, si trova che nello studio la sinterizzazione laser selettiva è il processo più conveniente perché



Figura 2.16: esempi con riempimento differente

i pezzi sono circondati da polvere e non richiedono strutture di supporto. La rimozione della polvere dalle strutture può essere facilmente ottenuta con dell'aria compressa. Altre tecnologie, come ad esempio la POLYJET o la Fused Deposition Modeling, non consentono sempre di eliminare i supporti.

2.2 I metamateriali

Prima di concentrarci sulla questione dei metaobjects si intende fare una literary review su quello che vi è alla base, ossia sul concetto di metamateriale. Il termine "Metamateriale" fu coniato nel 1999 da Rodger M. Walsler dell'Università del Texas ad Austin, questa la definizione: "Composto macroscopico avente un architettura tridimensionale cellulare periodica e sintetica progettata per produrre una combinazione ottimizzata, non disponibile in natura, di due o più risposte a una specifica sollecitazione". Le caratteristiche macroscopiche quindi dipendono soprattutto dalla struttura geometrica con cui è realizzato, piuttosto che direttamente da quella molecolare del materiale. Progettando opportunamente una struttura, in modo ordinato e ripetitivo, è possibile ottenere, partendo da materiali convenzionali, proprietà inattese. I metamateriali nascono però, per essere di particolare importanza nel campo dell'elettromagnetismo, con particolare attenzione per il campo dell'ottica e della fotonica. In tale campo essi sono promettenti per le applicazioni ottiche e nel campo delle microonde come nuovi tipi di beam steerers, modulatori, filtri passa banda, accoppiatori di microonde. Un metamateriale interessa le onde elettromagnetiche, avendo caratteristiche strutturali più piccole della lunghezza d'onda della radiazione elettromagnetica con cui interagisce. Per esempio, se un metamateriale si trova a funzionare come materiale omogeneo fedelmente descritto da un effettivo indice di rifrazione, le sue caratteristiche devono essere più piccole della lunghezza d'onda. Per la luce visibile, la cui lunghezza d'onda è tipicamente minore di un micrometro (560 nanometri per la luce del sole), le strutture sono generalmente la metà di questa dimensione o più piccole. Per la radiazione delle microonde, le strutture necessitano solo che siano sull'ordine di un decimetro. I

metamateriali a frequenza delle microonde sono di solito artificiali, costruiti come schiere (arrays) di elementi elettricamente conduttivi che hanno caratteristiche induttive e capacitive idonee. I metamateriali di solito sono composti da strutture periodiche, e di conseguenza hanno molte similarità con i cristalli fotonici e le superfici di frequenza selettive. Il più grande potenziale dei metamateriali è

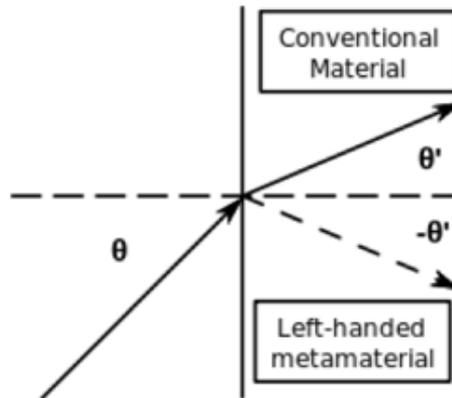


Figura 2.17: schema metamateriali

la possibilità di creare una struttura con un indice di rifrazione negativo, poiché questa proprietà non viene trovata naturalmente in nessun materiale (Fig. 2.17). Un'applicazione dei metamateriali potrebbe essere quella di manipolare le frequenze comprese tra i 300 GHz e i 10 THz. Queste frequenze non possono essere gestite dalle apparecchiature elettroniche convenzionali per via della frequenza eccessivamente elevata ma nel contempo hanno frequenze troppo basse per essere gestite dalle apparecchiature ottiche. Ricercatori del Los Alamos National Laboratory utilizzando dei metamateriali sono riusciti a manipolare segnali entro questo intervallo di frequenze. Tant'è che si pensa si possano utilizzare i metamateriali per l'occultamento di velivoli o navi ai radar e alla radiazione ottica. Secondo la rivista *PhysicsWorld* ci sarebbe un progetto della Britannia Royal Navy College di ottenere ciò in 10 anni, sfruttando la rifrazione negativa dei metamateriali. Dopo questa breve descrizione, ritornando al campo puramente meccanico, si è scelto di porre l'attenzione su alcuni metamateriali venuti alla luce da ricerche nel campo della meccanica, che diano un'idea della possibile vastità delle applicazioni per tale campo.

2.3 I metamateriali tridimensionali

Alla school of engineering di Harvard è stato sperimentato un nuovo metamateriale con multipli gradi di libertà che si basa su un tipo di unità modulare che richiama un origami. È interessante notare in questo caso che alcune delle geometrie risultanti sono quasi rigide, invece altre configurazioni del materiale lo portano ad essere facilmente deformabile. La cella unitaria(Fig. 2.18)(Fig. 2.19)(Fig. 2.20) considerata in questo studio può essere trasformata in modelli fortemente diversi variando gli angoli di inclinazione come è visibile nelle figure(Fig. 2.21)(Fig. 2.22).

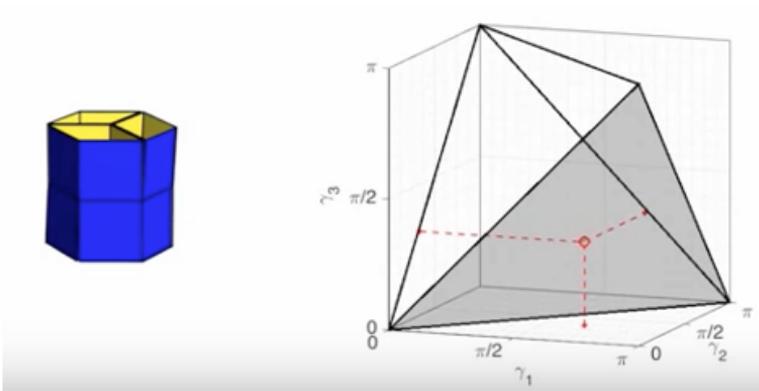


Figura 2.18: cella unitaria a

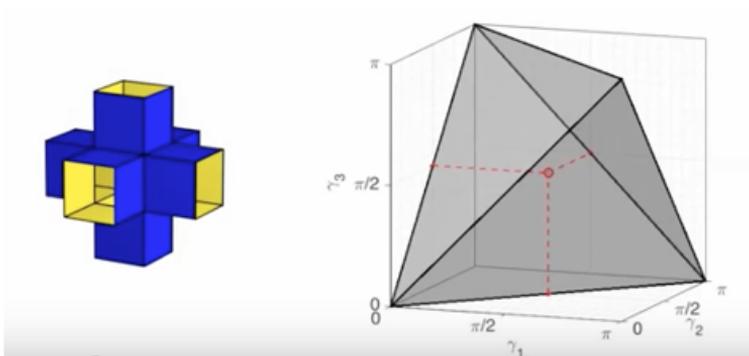


Figura 2.19: cella unitaria b

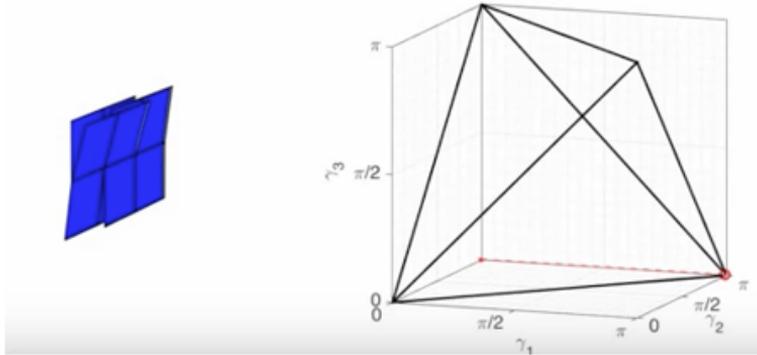


Figura 2.20: cella unitaria c

La cella unica è così stata utilizzata per ottenere un metamateriale meccanico la cui particolarità è il fatto che il volume e la deformazione sono alterate fortemente nelle varie configurazioni. Il materiale si ottiene unendo più celle e la struttura è assemblata in maniera tale da non far perdere gradi di libertà alle singole celle.



Figura 2.21: unione delle celle

Il volume e il modello della cella unitaria(Fig. 2.23) possono essere programmati attivamente posizionando strategicamente un sacchetto, che grazie alla pressurizzazione dell'aria permette di controllare il modello della cella ,ciò varrà dunque per l'intera struttura assemblata(Fig. 2.24). Ciò che si è osservato è che la risposta



Figura 2.22: grande variazione di volume



Figura 2.23: cella con attuatori

della cella è sempre elastica, anche applicando carichi elevati non si osservano deformazioni permanenti, bensì si ritorna alla configurazione di espansione massima appena i carichi sono rimossi. Questo approccio è applicabile nella progettazione di strutture riconfigurabili su un' ampia scala di lunghezze dalla millimetrica alla metrica a seconda delle esigenze di progettazione richieste, infatti viene mostrato nella ricerca l'applicazione di tale tecnologia ad oggetti come tubi, sedie o cupole.

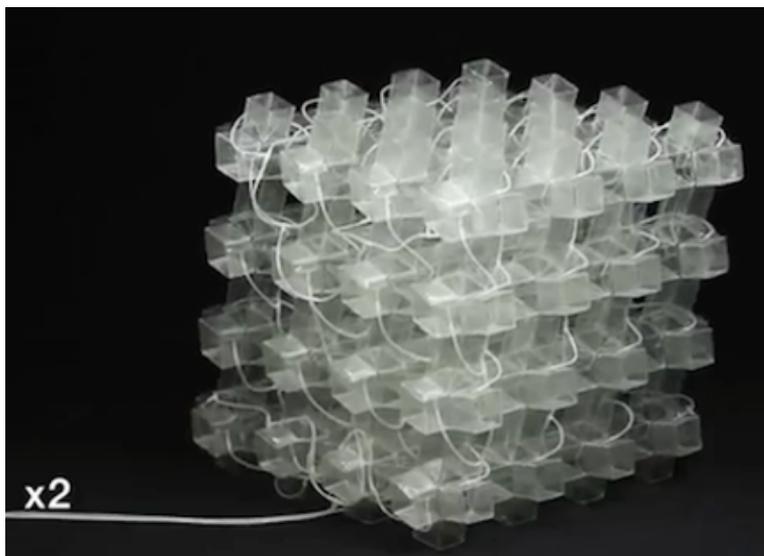


Figura 2.24: metamateriale con attuatori

2.4 Metamateriali riconfigurabili

I ricercatori della scuola di Ingegneria dell'Harvard University hanno iniziato a lavorare al concetto di materiale riconfigurabile e finora è stata valutata la seguente possibilità. Le strutture riconfigurabili possono cambiare la loro funzione cambiando la loro forma(Fig. 2.25)(Fig. 2.26)(Fig. 2.27)(Fig. 2.28)(Fig. 2.29). Esse risultano essere promettenti nel campo dei pannelli solari o nelle applicazioni fotoniche. I ricercatori hanno sviluppato una nuova struttura per migliorare le possibilità di tali materiali. Il modello utilizza l'assemblaggio di poliedri che combinandosi danno forma a strutture riconfigurabili estruse. Dalla tipologia di struttura dipende quanti sono i modi di trasformazione del materiale. Sono stati scansionati circa un milione di modelli per scegliere quale fosse il migliore per ogni tipologia di funzione, il materiale siffatto può passare senza problemi da una funzione all'altra.

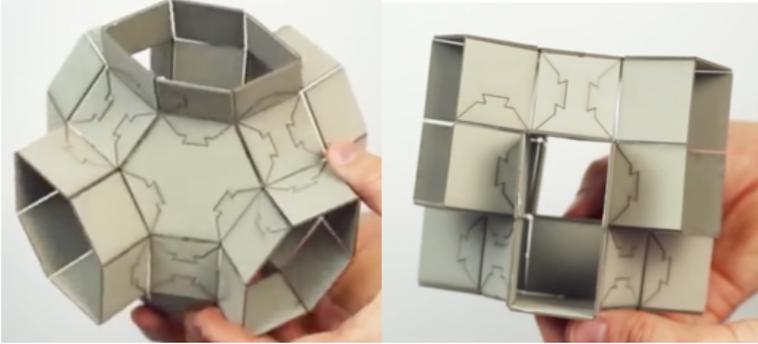


Figura 2.25: cella riconfigurabile a

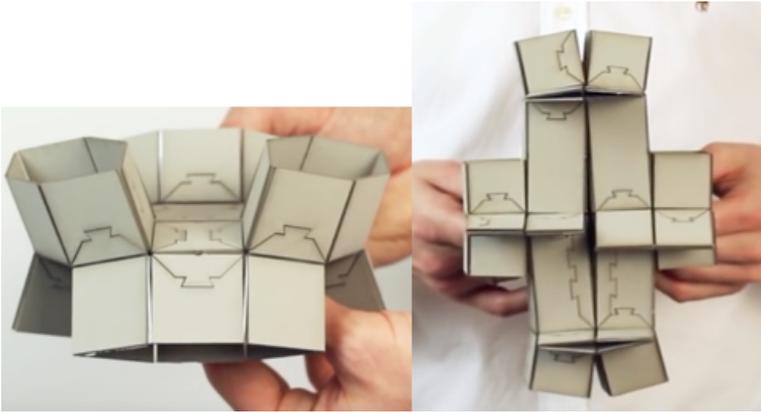


Figura 2.26: cella riconfigurabile b

2.5 Metafluidi: Materiali Pentamode

Per dare un'idea dal punto di vista delle scale di grandezza, a cui è applicabile il concetto di metamateriale, sembra opportuno menzionare una tipologia di materiale detto pentamode (Fig. 2.30). Un team di ricercatori nel 2012, guidato dal Professor Martin Wegener, del Karlsruhe Institute of Technology, ha studiato una nuova classe di materiali attraverso la creazione artificiale di un metafluido cristallino stabile. Grazie alle nanotecnologie e a tecniche di nano-strutturazione, si è potuto dar vita a materiali artificiali con proprietà modificabili a piacimento dell'utente. Grazie a questi nuovi materiali, idee come, mantelli dell'inaudibilità, e tanti altri progetti legati alla manipolazione del suono, potrebbero teoricamente un



Figura 2.27: cella riconfigurabile c

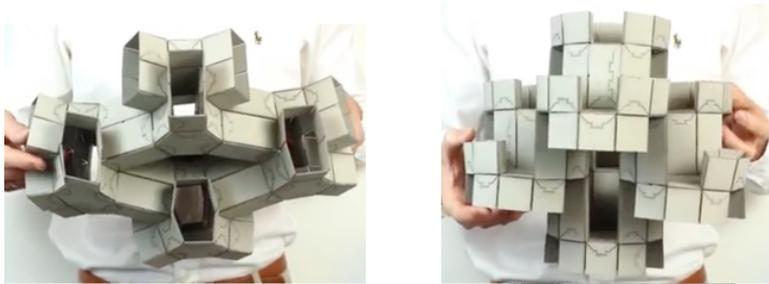


Figura 2.28: cella riconfigurabile d

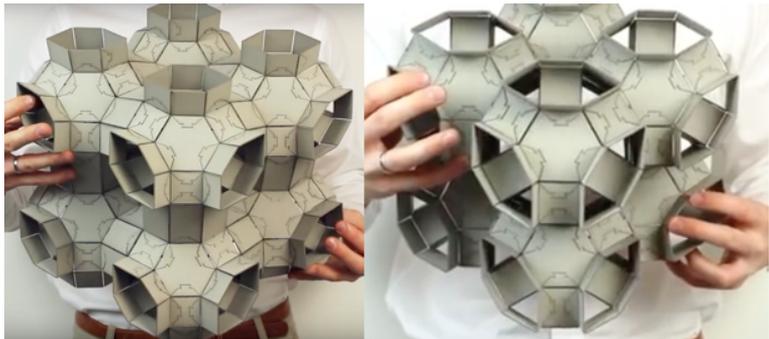


Figura 2.29: cella riconfigurabile e

giorno diventare realtà. Fino al 2012, i "pentamodi" proposti nel 1995 da Graeme

Milton e Andrej Cherkaev, sono stati solo metamateriali teorici. Il comportamento di tali materiali è espresso in base ai parametri di compressione e della forza di taglio. Il fenomeno per cui l'acqua, per esempio, difficilmente può essere compressa in un cilindro viene descritto con il parametro della compressione, ma allo stesso momento il fatto che può essere girata in tutte le direzioni usando un cucchiaio, viene espresso attraverso i parametri della forza di taglio.

La parola penta deriva dal greco e sta per "cinque". Per l'acqua, i cinque parametri della forza di taglio sono uguali a zero, e solo il parametro di compressione, è differente da quel valore. In termini di parametri, lo stato ideale di un metamateriale pentamode, corrisponde allo stato dell'acqua, ed è per tale motivo che si parla di questo materiale come di metafluido. Il prototipo ,costruito presso il Karlsruhe, è stato creato sulla base di un polimero. Il comportamento meccanico del materiale è determinato dall'acutezza e dalla lunghezza dei vari "pani di zucchero". Da una parte, serve essere in grado di progettare "pani" grandi solo qualche nanometro e correggerli per avere l'angolo giusto tra di loro. Dall'altra parte, l'intera struttura deve alla fine diventare quanto più grande possibile. Dato che il materiale stesso contribuisce solo poco più di 1 per cento al volume rispettivo, il metamateriale risulterà essere estremamente leggero. Si è dunque ottenuto un metamateriale cosiddetto pentamode ,le cui strutture sono state realizzate usando una scrittura laser. Di seguito le immagini della struttura del metamateriale pentamode e dei cosiddetti "pani di zucchero"(Fig. 2.31).

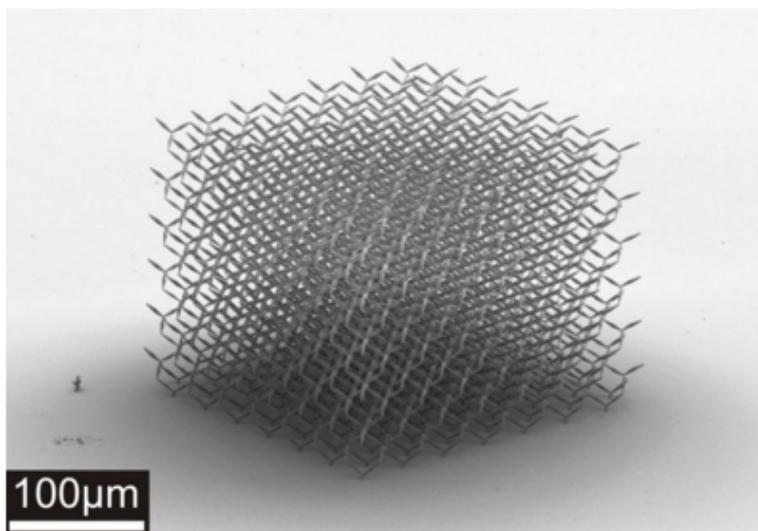


Figura 2.30: Metafluido

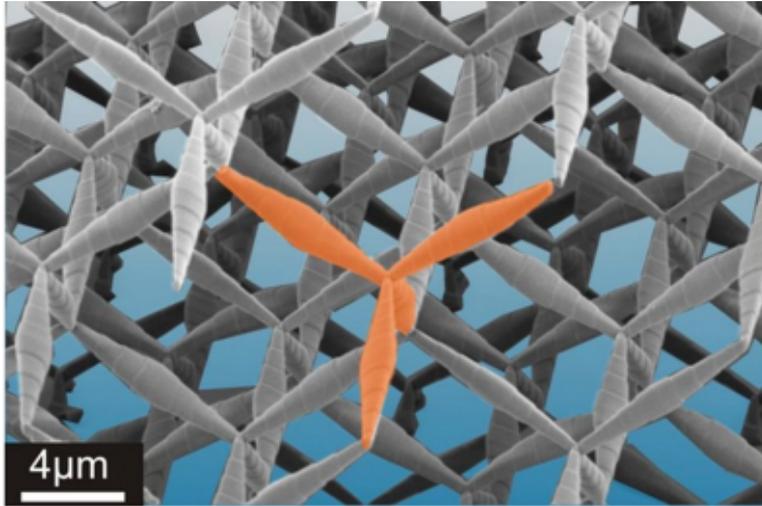


Figura 2.31: Cella di Metafluido

2.6 La stampa 4D

Sembra utile menzionare inoltre il concetto dello stampaggio 4D, come esempio delle possibilità nel campo della progettazione di materiali compositi stampabili che reagiscono a determinati stimoli. Nel 2013, H. Jerry Qi, professore associato di ingegneria meccanica presso CU-Boulder e il suo partner di ricerca Martin L. Dunn, dell'Università di tecnologia e design di Singapore, hanno sviluppato con successo un processo chiamato stampa "4D". Incorporando "shape of memory" ossia fibre polimeriche, si produce quindi un oggetto 3D che, quando successivamente riscaldato o raffreddato ad una specifica temperatura, assumerà una diversa forma. La chiave quindi è lo sviluppo di materiali "compositi attivi stampati" la cui architettura è stata attentamente progettata per includere in posizioni precise alcune fibre che mantengono la memoria della forma e che si comportano in un certo modo, quando esposti ad uno stimolo esterno.

I compositi attivi stampati (PAC) sono materiali morbidi costituiti da fibre polimeriche vetrose che vanno a rafforzare una matrice elastomerica. Queste fibre danno l'effetto di memoria di forma, che viene utilizzato per creare la parte "attiva" dei compositi. I PAC sono programmati dal punto di vista termomeccanico per assumere configurazioni tridimensionali, come piegature, arrotolamenti, forme complesse.

Il cambiamento di forma è controllato attraverso la progettazione di strutture ordinate o mediante disomogeneità su scala micrometrica. Le disomogeneità migliorano le prestazioni del materiale. L'inclusione di disomogeneità avviene tipicamente in modo casuale, in quanto è molto difficile controllare con precisione dove possano essere collocate (Fig. 2.32).

L'architettura completa di fibre e matrice viene stampata da un file CAD utilizzando una stampante 3d, le goccioline di polimero sono depositate a circa 70 ° C e poi fotopolimerizzate. Questo processo si traduce in un film che contiene matrice e fibra, l'architettura composita completa viene poi realizzata dalla stampa di più strati di pellicola che creano una lamina unica.

La possibilità di creare effetti a memoria di forma, come la piegatura, il curling, o torsioni apre enormi possibilità nel campo del design di prodotto.

2.7 Materiali e tecniche di stampaggio 3D

Dopo una rivisitazione di vari casi inerenti ai metamateriali andiamo a fare un approfondimento sui materiali e la tipologia di stampaggio più idonea nel caso di un ipotetico metaobject. Le stampanti che utilizzano la tecnologia FDM ,fused deposition modelling, sono le più diffuse sul mercato poiché risultano avere costi bassi ed accessibili alla maggior parte di utenti; per tale motivo negli ultimi anni c'è stato un enorme sviluppo dei materiali impiegabili per tale tipo di tecnologia ,materiali che danno la possibilità di produrre pezzi con svariate proprietà meccaniche (Fig. 2.33). Grazie a questa tecnologia è anche possibile stampare oggetti utilizzando materiali con differenti caratteristiche fisiche e funzionali, in modo da ottenere proprietà differenti nelle diverse parti. La recente commercializzazione di filamenti di materiale termoplastico elastomerico (TPE) per stampanti FDM, rende possibile ottenere un oggetto combinando due materiali con differente rigidità. I materiali termoplastici, quali ABS, PLA, PS, PET, Nylon, che hanno caratteristiche meccaniche (rigidezza, resistenza a trazione, resistenza a impatto) poco differenti, oggi possono essere combinati con elastomeri termoplastici con rigidezze anche di due ordini di grandezza inferiori, permettendo di ottenere pezzi stampati con proprietà meccaniche molto differenti. Oltre alle applicazioni estetiche ed ergonomiche, la combinazione di un materiale termoplastico rigido e uno elastomerico, può avere numerose applicazioni funzionali.

Si parla dunque di shape memory polymers (SMP) che sono materiali intelligenti che reagiscono a un stimolo applicato per recuperare grandi deformazioni. Le tecniche di fabbricazione additiva possono essere utilizzati per la produzione di parti con SMP, consentendo di avere strutture intelligenti con diverse geometrie. Si è

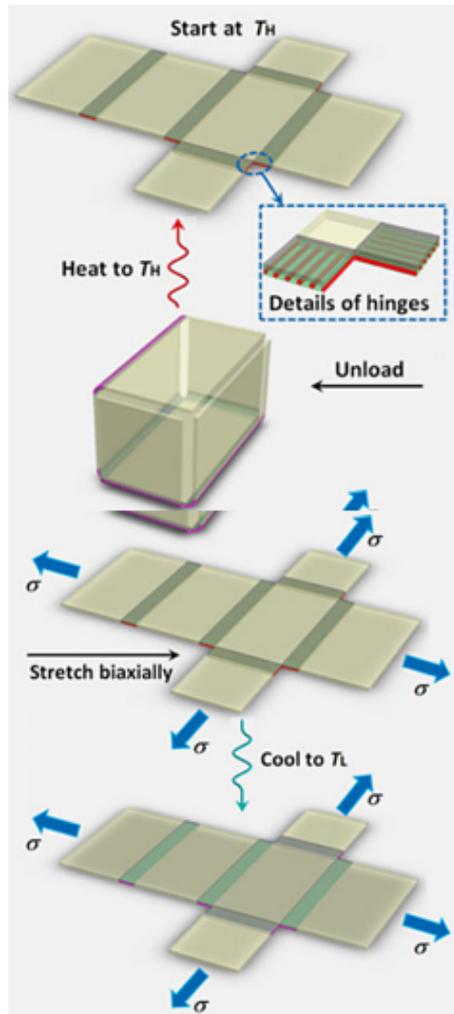


Figura 2.32: materiale 4d

visto inoltre che utilizzando una stampante 3D commerciale per produrre esemplari di pezzi con SMP ,in particolare di poliuretano ,applicando trattamenti di ricottura ad alcuni dei campioni ed in seguito prove meccaniche e termomeccaniche per studiare gli effetti di trattamenti termici di ricottura sulla trazione e proprietà di shape memory dei campioni, che la stampa 3D ha dimostrato essere una tecnica adatta per la produzione di pezzi con SMP in grado di trattenere buone

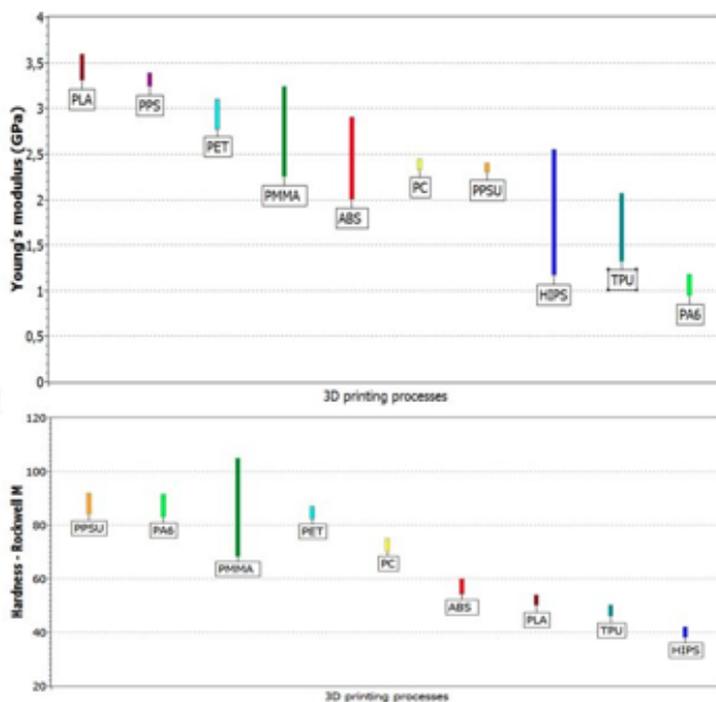


Figura 2.33: Materiali per stampa 3d

caratteristiche di memoria di forma. Diversi trattamenti termici di ricottura e test di temperatura hanno dimostrato notevoli effetti sulle proprietà, hanno mostrato cioè un miglioramento del tasso di recupero della forma. Fra tutte le tecnologie sfruttate nel campo della Fabbricazione additiva la FDM è quella che ha un grande possibilità di scelta sul mercato dei materiali termoplastici rigidi stampabili, i materiali flessibili termoplastici sono una nuova opportunità per il campo dello stampaggio 3D e come tali non sono stati caratterizzati del tutto (Fig. 2.34). La FDM comporta l'uso di filamenti di materiali avvolti su una bobina che sono poi fatti passare attraverso un estrusore riscaldato per raggiungere la temperatura di transizione vetrosa, generalmente circa 190-280° C per materiali termoplastici, costruendo il pezzo strato su strato. Ci sono diverse soluzioni per lo stampaggio di materiali flessibili che richiedono specifiche stampanti 3D. La FDM ha come parametri importanti l'altezza del layer, quantità di layer in altezza, modelli di riempimento e densità di riempimento. Il riempimento degli strati può essere variato, e il materiale è in genere caratterizzato da densità del 40, 70 e 100 per cento,

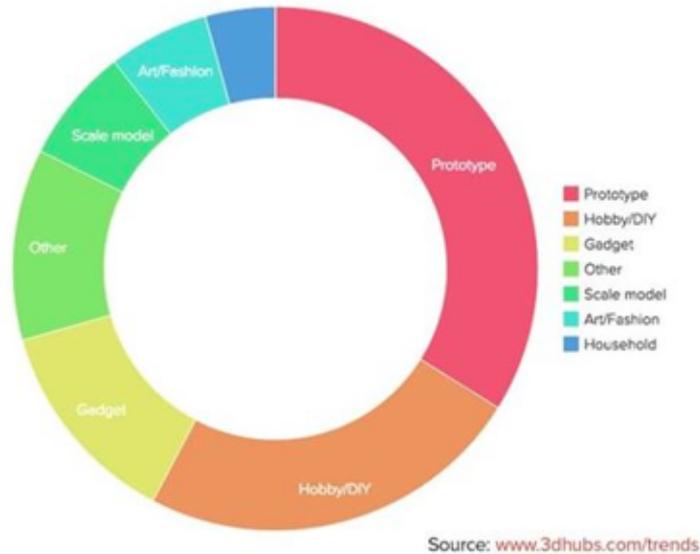


Figura 2.34: Utilizzo delle tecniche di stampa 3D

tale parametro conduce a diverse proprietà meccaniche.

In uno studio condotto presso la Michigan Technological University sono stati messi a confronto vari tipi di materiali per lo stampaggio utilizzando stampanti diverse ed appropriate a seconda della rigidità o flessibilità dei materiali, per quanto riguarda i materiali dotati di flessibilità fra essi viene menzionato il ninjaflex. Durante le prove Tutti gli esemplari sono stati stampati all'interno in un ambiente a temperatura controllata con riempimento del 100 per cento. Inoltre, i campioni sono stati stampati con diverse temperature di estrusione a seconda del materiale. Altri parametri di stampa come altezza del layer, velocità e controlli sono stati impostati seguendo le raccomandazioni del fornitore. I risultati inerenti ai materiali flessibili sullo stress da essi sopportato sono visualizzabili in tabella (Fig. 2.35). In ogni caso lo studio ha portato alle seguenti conclusioni in merito alle sostanziali differenze tra i materiali presenti sul mercato. Il materiale più resistente tra quelli testato, è stato il policarbonato con una massima resistenza alla trazione di 49 MPa. Il materiale più flessibile è risultato essere il Ninjaflex, che non ha portato alla rottura del filamento fino ad un'estensione di circa l'800 per cento. La sollecitazione di trazione per Ninjaflex all' 800 per cento di estensione era di oltre 12 MPa (media di tutti i colori in commercio). Il nylon è risultato essere più forti del

Material	Orientation of print	Average Mass(g)	Average Load at 60mm extension (N)	Average Stress at 60mm extension (MPa)	Standard deviation of Stress at 60mm extension (MPa)
Ninjabflex (Black)	Diagonal	11.27	202.79	4.87	0.25
Ninjabflex (Blue)	Diagonal	8.86	147.62	3.55	0.64
Ninjabflex (Green)	Vertical	10.92	211.75	5.09	0.15
Ninjabflex (Red)	Diagonal	11.355	199.64	4.8	0.28
Ninjabflex (White)	Vertical	9.192	161.88	3.89	0.1
Nylon Bridge	Diagonal	10.666	1102.87	26.51	3.65
Semiflex (Black)	Diagonal	12.14	422.04	10.15	1.02
Semiflex (Blue)	Diagonal	12.08	416.88	10.02	0.58
Semiflex (Red)	Vertical	10.65	382.37	9.2	0.89
Semiflex (Red)	Diagonal	11.41	406.89	9.78	1.18
Semiflex (White)	Vertical	9.94	348.72	8.38	0.65

Figura 2.35: Tabella 1

Ninjabflex e Semiflex è molto più flessibile di ABS, HIPS, T-Glase e policarbonato, fornendo una buona equilibrio tra forza e flessibilità.

2.8 Ninjabflex

Nel caso dei metaobjects implementati presso l'Hasso Plattner Institute la tipologia di materiale utilizzato è un elastomero termoplastico: il Ninjabflex. I Filamenti di NinjaFlex, recenti sul mercato dello stampaggio 3D, sono stati introdotti dalla Fenner Drives, Inc. nel 2014. Questo materiale è costituito da un elastomero termoplastico (TPE) che permette di realizzare oggetti flessibili con ottime proprietà elastiche: si può allungare e piegare, ritornando poi alla forma originale dell'oggetto. Inoltre è molto resistente all'abrasione e un'eccellente adesione al piano di stampa e tra i layers. Le temperature di estrusione sono fra 210°C-230°C e per migliorare ulteriormente l'adesione si sfrutta un piano riscaldato a circa 30°C. Deve essere stampato a velocità non troppo elevate. Si tratta di un tipo di elastomero termoplastico (TPE) dato dalla combinazione di un materiale termoplastico e gomma ,potenzialmente applicabile a numerosi nuovi settori. Poco dopo il suo rilascio sul mercato, NinjaFlex è stato utilizzato per una vasta gamma di progetti , la maggior parte dei quali lo hanno esclusivamente sfruttato per le sue proprietà meccaniche .Tuttavia esso risulta essere un materiale desiderabile anche in campo elettrico e biomedicale ,ma finora non sembra ci siano state applicazioni in tal senso. La Fenner Drives descrive il proprio prodotto come 'Un filamento flessibile ,leader nel settore ,grazie alla sua flessibilità e longevità superiore rispetto ai materiali non poliuretanic. La sua consistenza di diametro e ovalità (rotondità) supera di gran lunga altri materiali poliuretanic. Costituito da un materiale termoplastico poliuretanic formulato appositamente, questa tecnologia brevettata offre una bassa aderenza, una texture facile da alimentare. Il risultato è quello di

un materiale unicamente flessibile, le stampe sono resistenti ideali per estrusori a presa diretta.' L'azienda propone per il materiale Ninjaflex acquistabile le seguenti caratteristiche:

- Estremamente flessibile ,non è richiesta alcuna manipolazione del layer per raggiungere la performance.
- 660 per cento di allungamento, permessa per movimenti ripetitivi e impatti senza rottura.
- Composizione Poliuretanaica ,permette un eccellente riduzione delle vibrazioni.
- Basso attrito esteriore.
- Resistenza all' abbrazione 20 in più rispetto all' ABS e 68 del PLA.
- Consistenza del diametro e le proprietà del materiale danno un'alta qualità delle stampe .
- Resistenza chimica a materiali come nafta, petrolio e freon.

Come costo del materiale l'azienda riporta la seguente tabella, i prezzi non variano al variare dei nove colori disponibili(Fig. 2.36):

SPOOL SIZE	PRICE
1.1lb / .5kg (1.75mm)	\$51.99
1.6lb / .75kg (3mm)	\$64.99
5lb / 2.2kg (3mm)	\$166.99

Figura 2.36: Tabella

La Fenner Drives Inc. inoltre riporta le diverse applicazioni per le quali tale tipologia di filamento è stata utilizzata, a titolo di esempio riportiamo:

- Colonne personalizzate per fornire ulteriore sospensione per la sella di una mountain bike (Fig. 2.37).
- Un plug che impedisce che i pellets si accumulino e non raggiungano la loro destinazione su linea di produzione(Fig. 2.38).
- Schermo di aspirazione per prevenire la fuoriuscita di materiale su una linea di estrusione per la resina(Fig. 2.39).



Figura 2.37: Sospensione mountain bike

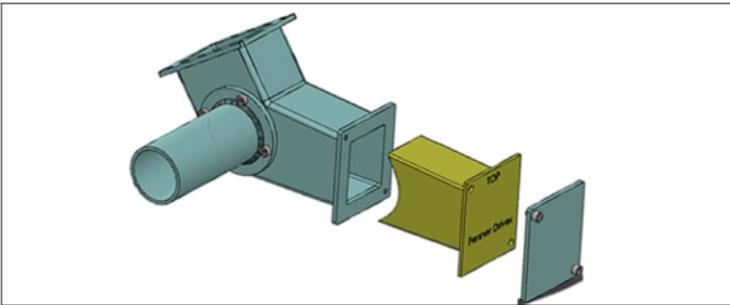


Figura 2.38: Linea di produzione



Figura 2.39: Aspirazione del materiale

Capitolo 3

Possibili componenti stampati in bimateriale

L'obiettivo di questo lavoro di tesi è stato quello di andare a ricercare parti meccaniche che svolgessero la propria funzione facendo dei movimenti semplici. L'intento è quello in questa prima fase di andare a sostituire i meccanismi che permettono il moto, normalmente costituiti da materiale metallico, con 'metameccanismi' ossia parti flessibili di materiale plastico, in particolare materiali polimerici che vengono utilizzati nella fusion deposition modelling. Nello specifico si considera l'ipotesi di avere una macchina a due ugelli che permetta la deposizione di due diversi materiali uno 'duro' ed uno 'flessibile', il primo per le parti del pezzo che devono essere resistenti, il secondo per la parte che deve sostituire il meccanismo, quindi dare movimento.

Il software cad che è stato utilizzato per la fase di design dei pezzi è Solidworks della Dassault systems.

In questa prima fase dello studio si sono scelte le possibili forme delle parti flessibili sulla base dell'esperienza.

3.1 Gancetto

Il primo pezzo che si è andato a considerare è un comune gancetto. Si mostra l'immagine della modellazione in Solidworks (Fig. 3.1).

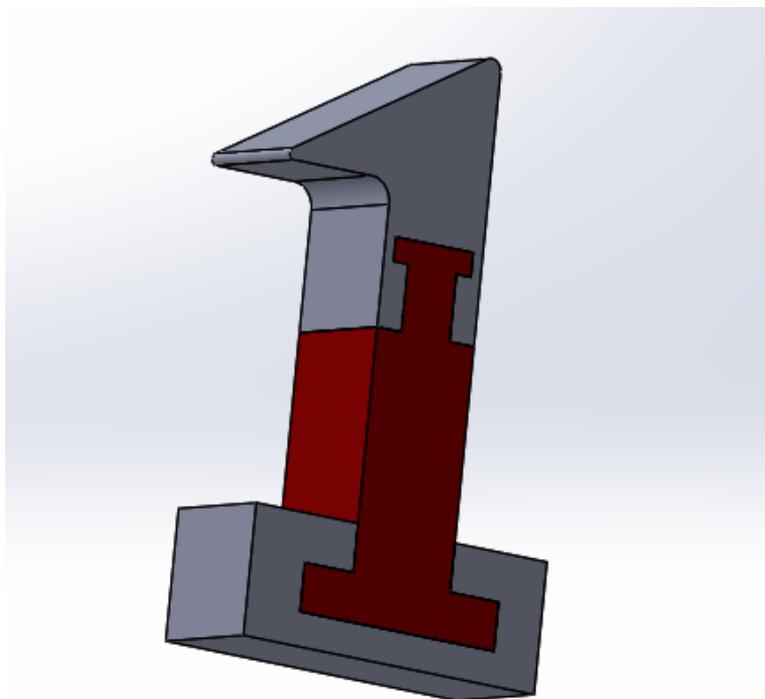


Figura 3.1: Gancetto

Il gancetto è stato creato come assieme di tre parti le due parti superiore e inferiore rappresentano la zona rigida del pezzo ,la parte centrale la zona flessibile ,quella che durante l'utilizzo risulta essere più sollecitata e più soggetta al cedimento. Per andare a verificare quanto appena detto si è andato ad utilizzare il Simulatore di Solidworks. Si sono dovuti dunque definire vincoli e forze(Fig. 3.2)., il solutore crea una mesh (Fig. 3.3)e in seguito fornisce il risultato.

I dati inseriti sono stati quelli relativi alle densità dei due materiali differenti , si è deciso di porre sulla superficie dei vincoli fissi tipo incastro e considerare l'inerzia e la forza (pari a 100N) che tira verso l'alto l'uncino del gancetto.

Si è poi richiesto al solutore di creare una mesh ,con dimensione della triangolazione adeguata:

Si mostrano di seguito i risultati ottenuti, in termini di sollecitazione, deformazione e spostamento(Fig. 3.4).(Fig. 3.5).(Fig. 3.6)..

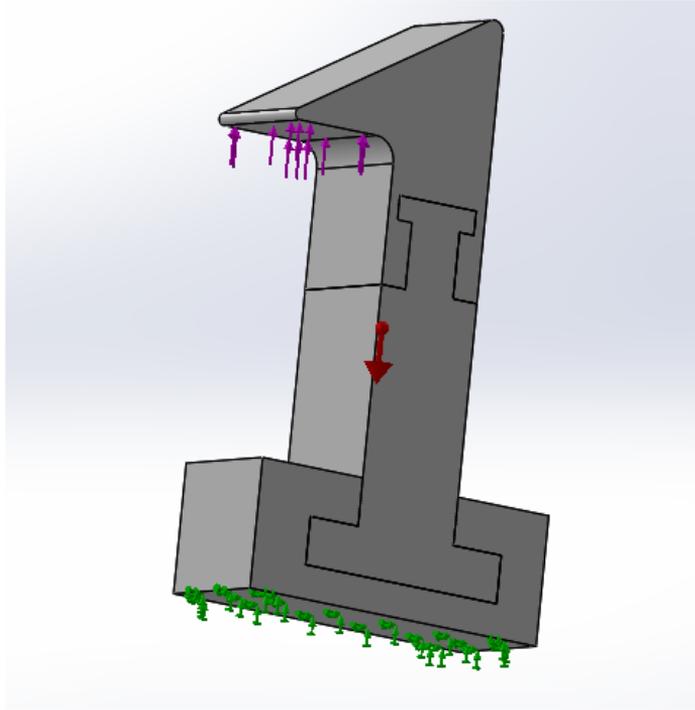


Figura 3.2: gancetto forze e vincoli

I risultati proposti sembrano rispecchiare in maniera abbastanza buona quanto si ci aspettava.

3.2 Meccanismo semplice con aste

Il secondo caso considerato è quello di un meccanismo semplice il cui obiettivo è quello di disegnare una linea retta con la punta della parte triangolare(Fig. 3.7).

In questo caso si sono andate a sostituire le cerniere, che permetterebbero il moto della struttura, con delle parti flessibili(Fig. 3.8).

Le zone in rosso nel modello erano costituite quindi da cerniere e sono state sostituite da parti flessibili con una forma tale per cui il movimento concesso alla struttura fosse lo stesso(Fig. 3.9). Le parti in grigio rappresentano le zone rigide del modello(Fig. 3.10).

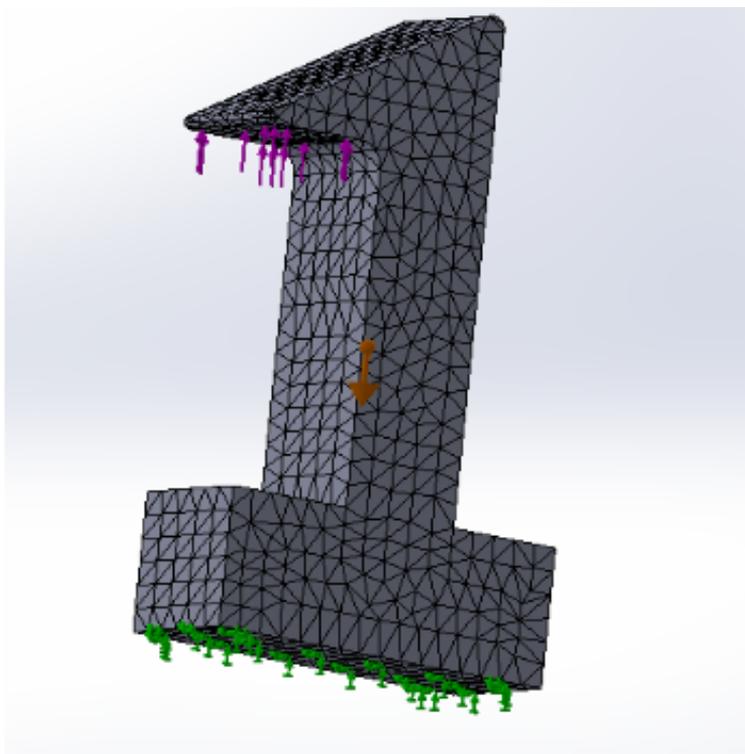


Figura 3.3: Gancetto Mesh

Il meccanismo dovrebbe funzionare in maniera tale che la punta in basso segua una linea retta quando i due bracci laterali sono portati a inclinarsi e ruotare quindi. Per verificare se il modello così costituito fosse in linea con il meccanismo originale si è effettuata una simulazione mediante Solidworks.

Si sono dovuti definire vincoli e forze (Fig. 3.11), il solutore ha creato una mesh (Fig. 3.12) e in seguito fornito il risultato.

I dati inseriti sono stati quelli relativi alle densità dei due materiali differenti, si è deciso di porre sulla superficie inferiore dei vincoli fissi tipo incastro e considerare l'inerzia e una forza (pari a 100N) di taglio sulla superficie superiore che permette l'inclinazione dei bracci laterali.

Si è poi chiesto al solutore di creare una mesh, con dimensione della triangolazione

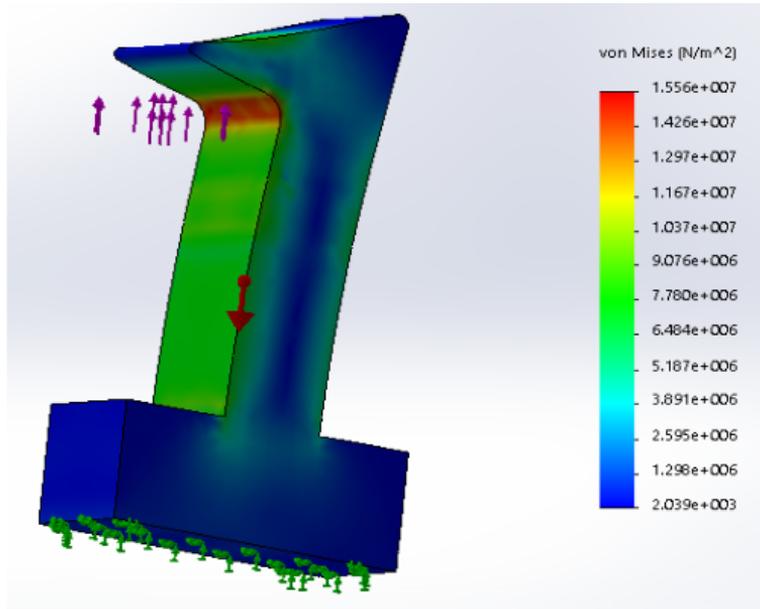


Figura 3.4: Sollecitazione

adeguata:

Si mostrano di seguito i risultati ottenuti, in termini di sollecitazione, deformazione e spostamento (Fig. 3.13). (Fig. 3.14). (Fig. 3.15).

Il modello rispecchia quanto si ci aspettava, attivando la funzione di animazione del simulatore è visibilmente chiaro che la punta in basso della parte triangolare segue una linea retta.

3.3 Peucellier's mechanism

Il terzo caso studiato è stato quello del meccanismo di Peucellier che mostriamo in figura (Fig. 3.16).

L'obiettivo del meccanismo è quello di disegnare una linea retta con l'estremo, considerando la rotazione delle varie cerniere. Si sono sostituite le cerniere che permettono il moto della struttura con delle parti flessibili. Si mostra la modellazione della parte in Solidworks (Fig. 3.17).

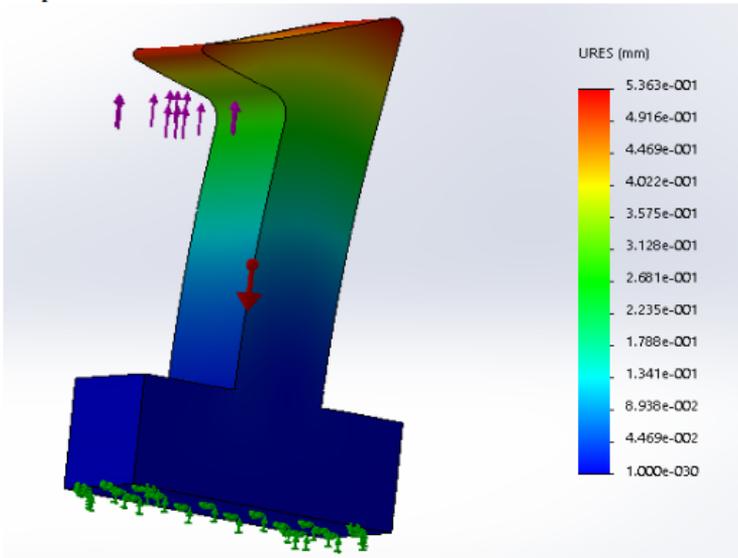


Figura 3.5: Deformazione

Le zone in rosso nel modello erano costituite da cerniere e sono state sostituite da parti flessibili che avessero una forma tale per cui il movimento concesso alla struttura fosse lo stesso. Le parti in grigio rappresentano le zone rigide del modello. Per verificare se il modello così costituito fosse in linea con il meccanismo originale si è effettuata una simulazione mediante solidworks.

Si sono dovuti definire vincoli e forze (Fig. 3.18), il solutore crea una mesh (Fig. 3.19). e in seguito fornisce il risultato.

I dati inseriti sono stati quelli relativi alle densità dei due materiali differenti, si è deciso di porre sulla superficie frontale della manovella un vincolo di tipo rullo in maniera da evitare spostamenti normali al piano xy , ed anche dei vincoli che permettessero la rotazione delle aste attorno alle due cerniere, lo si è fatto impedendo lo spostamento lungo asse z e lungo la direzione radiale delle due superfici cilindriche, si è poi considerata l'inerzia del corpo e un momento (pari a 10Nm) sulla superficie cilindrica della manovella che permettesse la rotazione di quest'ultima.

Il solutore ha poi creato la mesh

Si mostrano di seguito i risultati ottenuti, in termini di sollecitazione, deformazione e spostamento (Fig. 3.20). (Fig. 3.21). (Fig. 3.22).

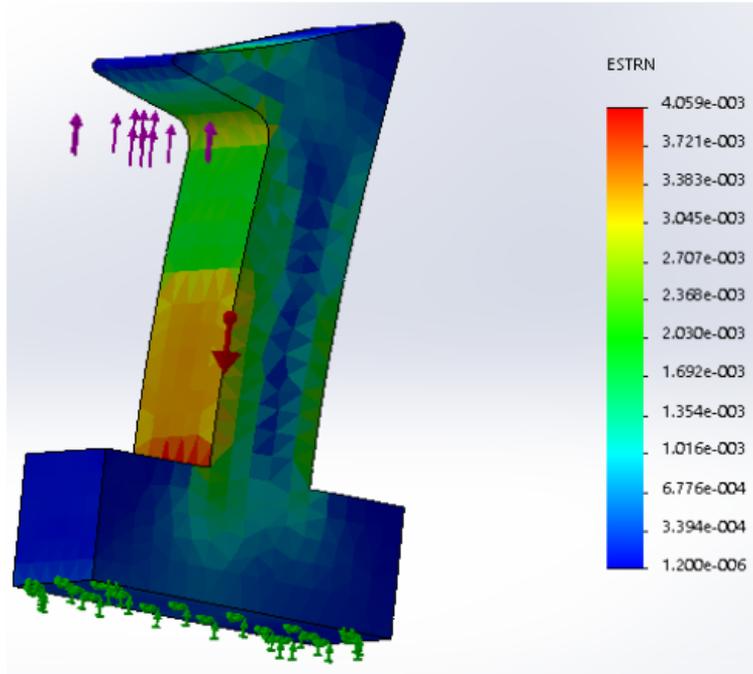


Figura 3.6: Spostamento

La simulazione effettuata mostra che effettivamente lo spostamento del punto estremo è verticale, la simulazione è per piccoli spostamenti, poiché si nota anche poca deformazione nelle parti flessibili, sarà necessario riproporre lo studio per grandi spostamenti se si vuole avere una maggiore visione della deformazione.

3.4 Catapulta

Il quarto caso considerato è quello di una catapulta di cui si mostra la modellazione (Fig. 3.23). (Fig. 3.24). in Solidworks.

L'obiettivo del meccanismo è quello di una piccola catapulta che sfrutta l'elasticità del materiale. Si sono sostituite le molle alla base che permettono il moto della struttura con delle parti flessibili. Nella modellazione della parte, la parte anteriore della struttura serve a bloccare il "cucchiaino" e a migliorarne la stabilità.

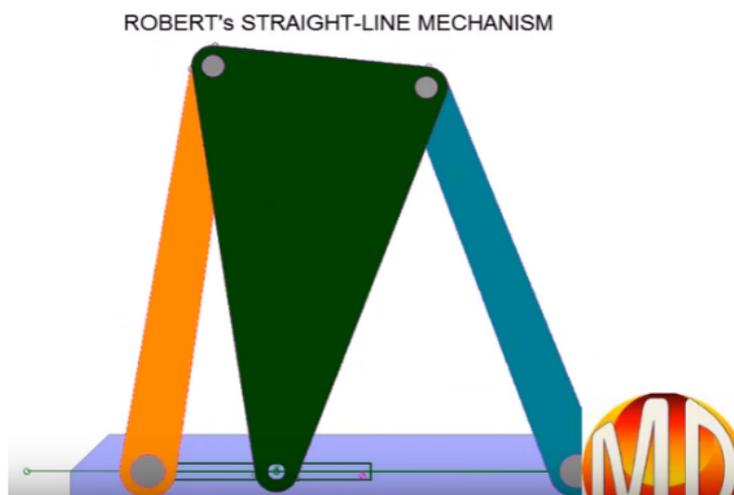


Figura 3.7: Meccanismo con aste

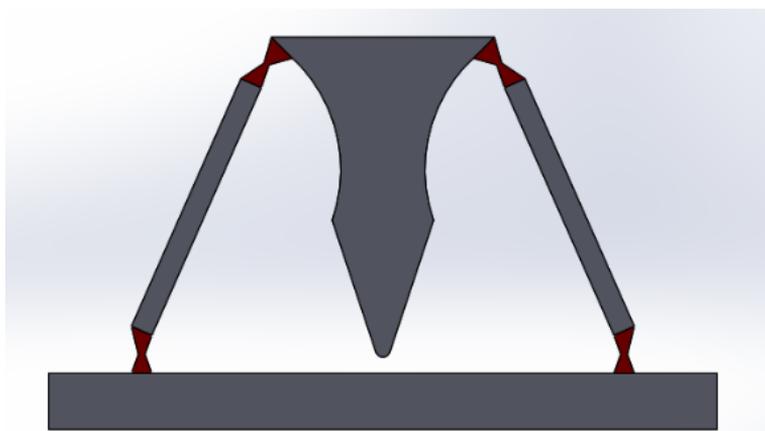


Figura 3.8: Modellazione

Le zone in rosso nel modello nel modello originale sono molle e sono state sostituire da parti flessibili con forma tale per cui il movimento concesso alla struttura restasse lo stesso. Le parti in grigio rappresentano le zone che devono mantenersi rigide per il funzionamento del modello. Per verificare se il modello così costituito fosse stato in linea con il meccanismo originale si è effettuata una simulazione mediante Solidworks. Si sono dovuti definire vincoli e forze(Fig. 3.25), il solutore crea una

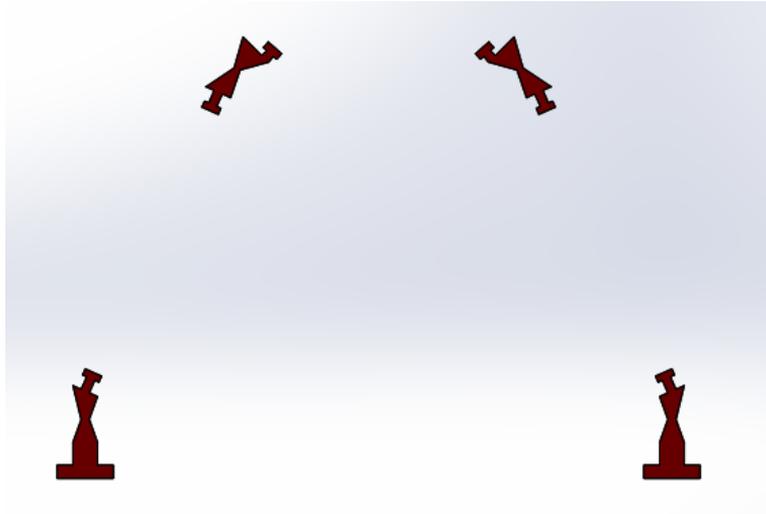


Figura 3.9: Parte flessibile

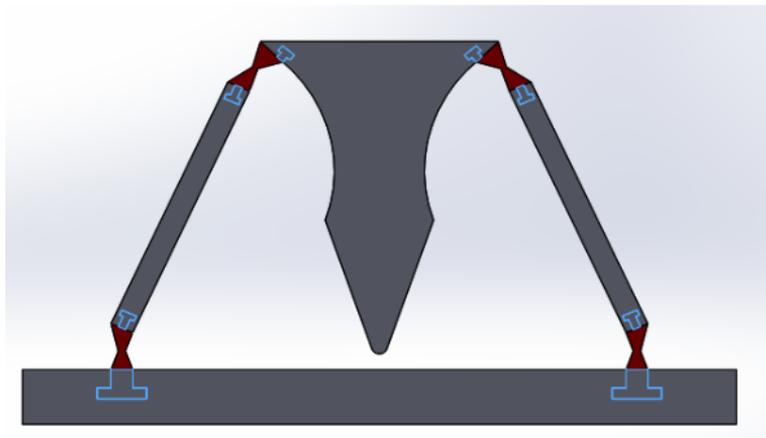


Figura 3.10: Parte flessibile e rigida

mesh (Fig. 3.26) e in seguito fornisce il risultato.

I dati inseriti sono stati quelli relativi alle densità dei due materiali differenti, si è deciso di porre sulla superficie inferiore della struttura un vincolo di tipo fisso, in maniera tale da impedire il ribaltamento, si è poi considerata l'inerzia del corpo e

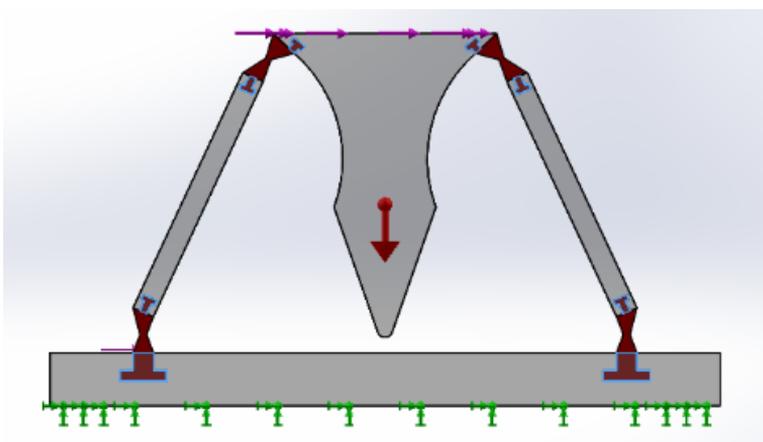


Figura 3.11: Forze e vincoli

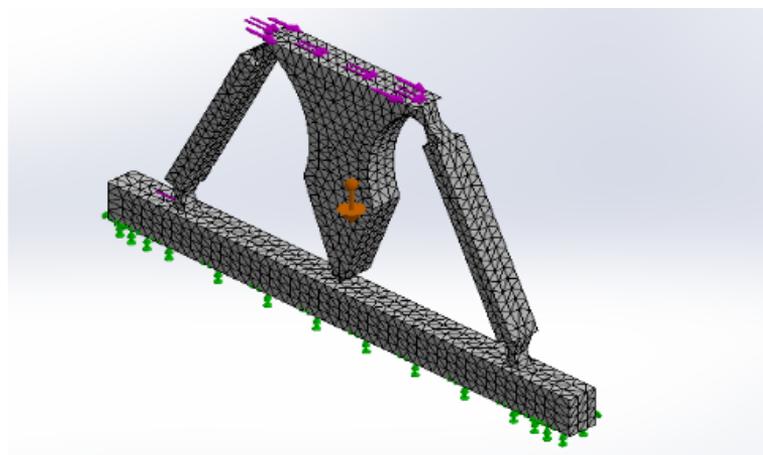


Figura 3.12: Mesh

una forza normale (pari a 200N) sulla superficie del cucchiaio.

Il solutore ha poi creato la mesh

Si mostrano di seguito i risultati ottenuti, in termini di sollecitazione, spostamento e deformazione(Fig. 3.27).(Fig. 3.28).(Fig. 3.29).

I risultati ottenuti sembrano rispecchiare in maniera abbastanza coerente ciò che si ci aspettava.

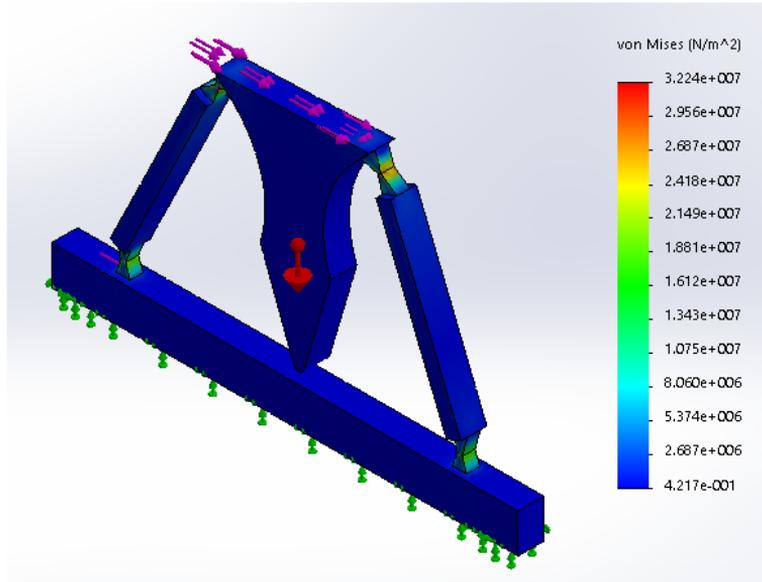


Figura 3.13: Sollecitazione

Lo studio di questi meccanismi semplici ha permesso di rendersi conto dei risultati in simulazione ottenuti su componenti bi-materiali dove i materiali presentano differenti rigidità, è stato utile in previsione della successiva progettazione del prototipo del gripper bi-materiale, in cui si è cercato di distinguere zone adatte alla rigidità e zone adatte alla flessibilità, al fine dell'equilibrio e della funzionalità strutturale.

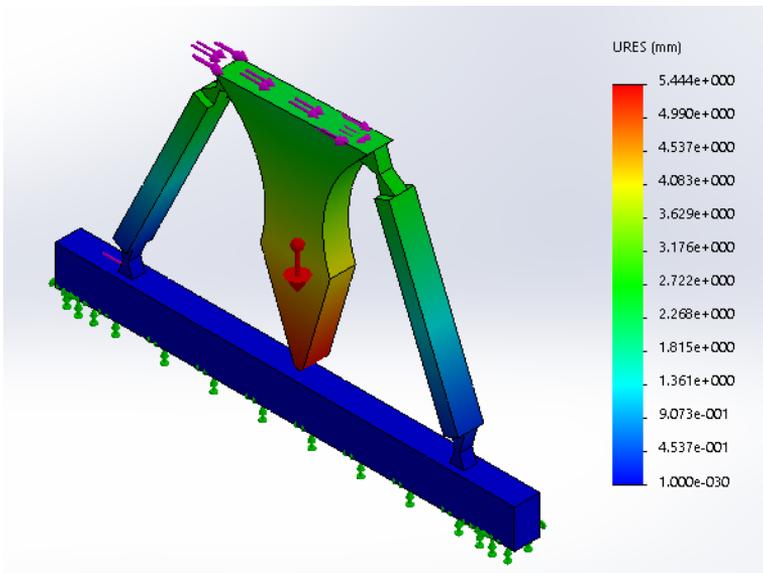


Figura 3.14: Defomazione

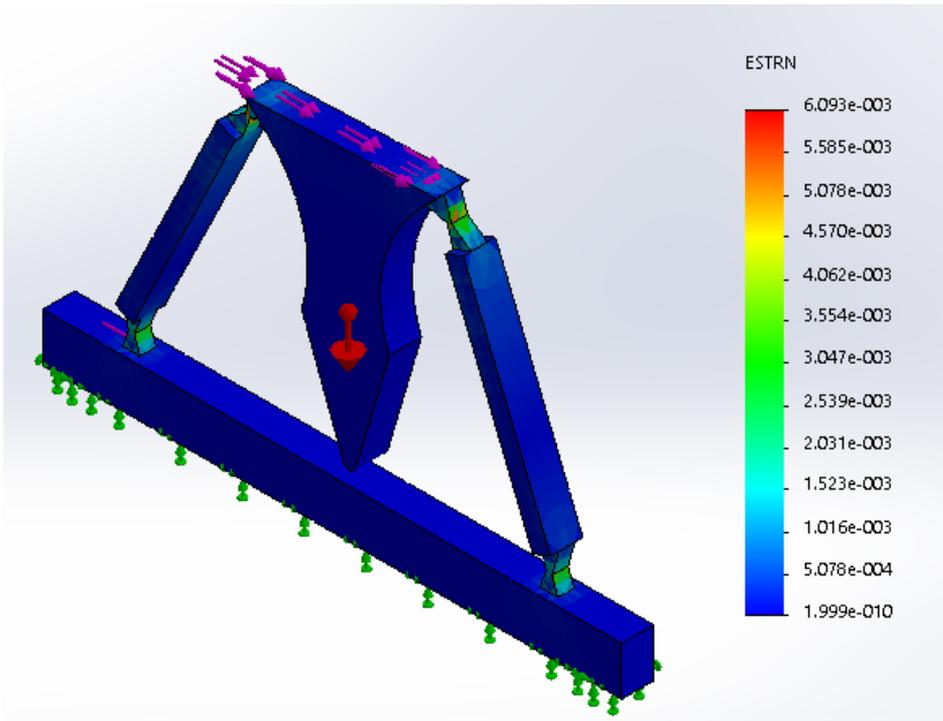


Figura 3.15: Spostamento

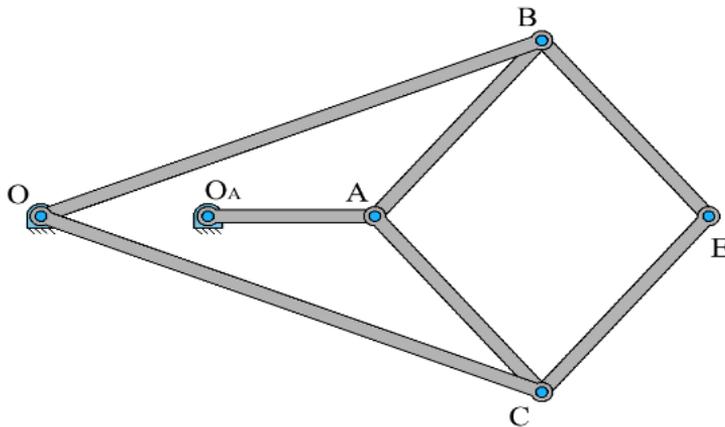


Figura 3.16: Meccanismo

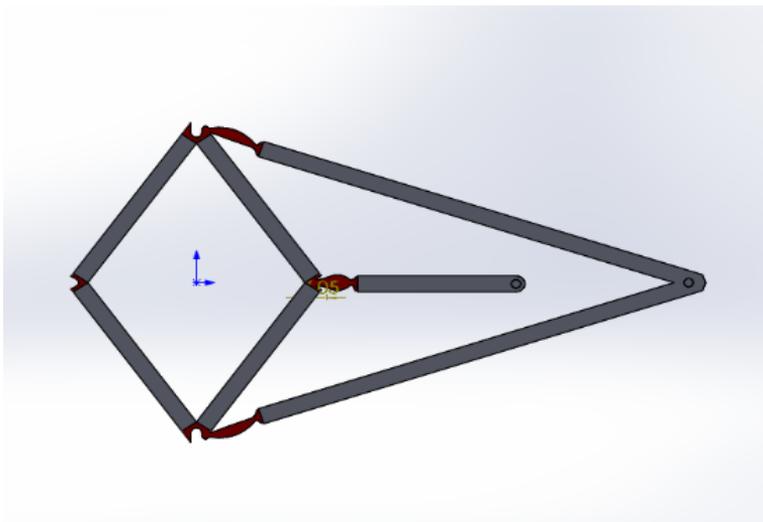


Figura 3.17: Modellazione

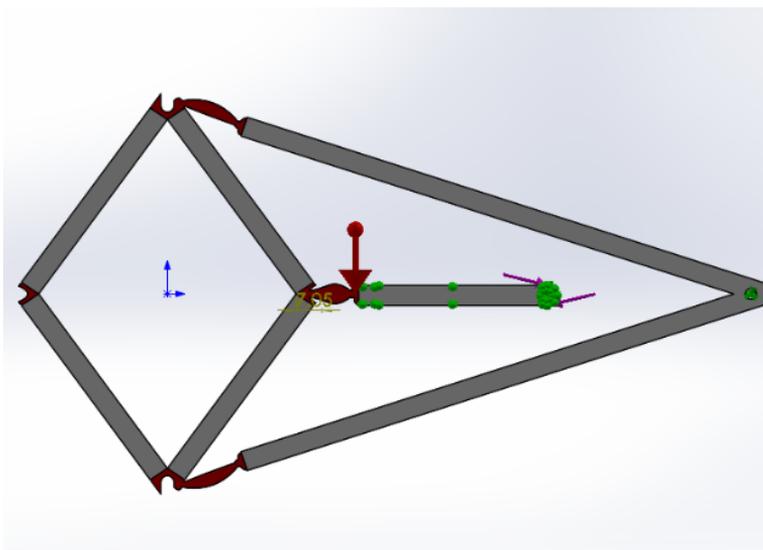


Figura 3.18: Vincoli e forze

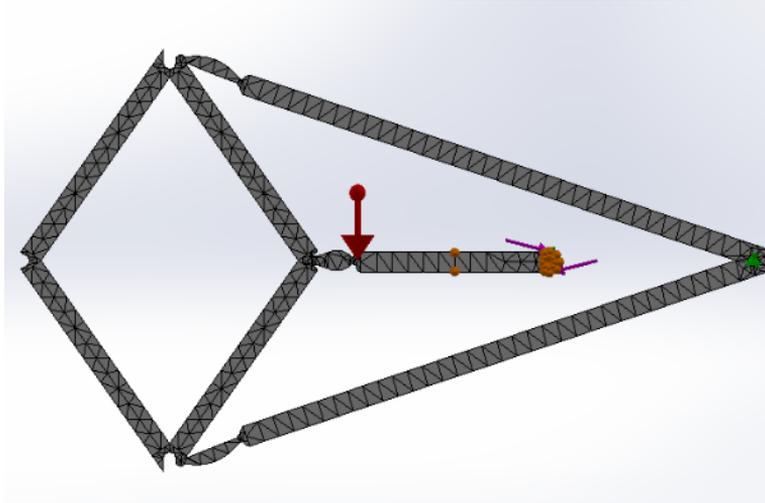


Figura 3.19: Mesh

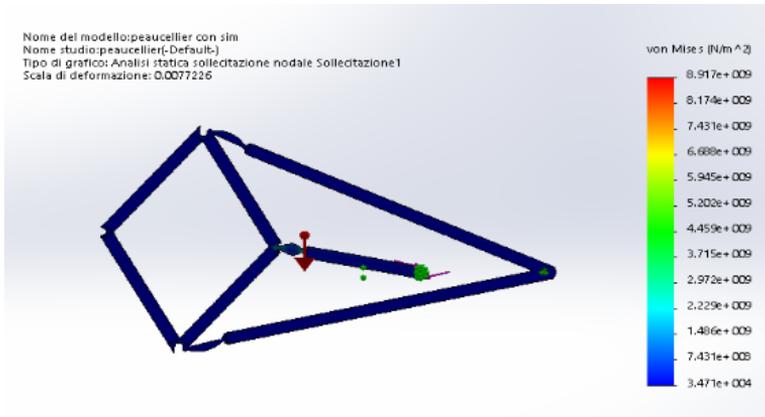


Figura 3.20: Sollecitazione

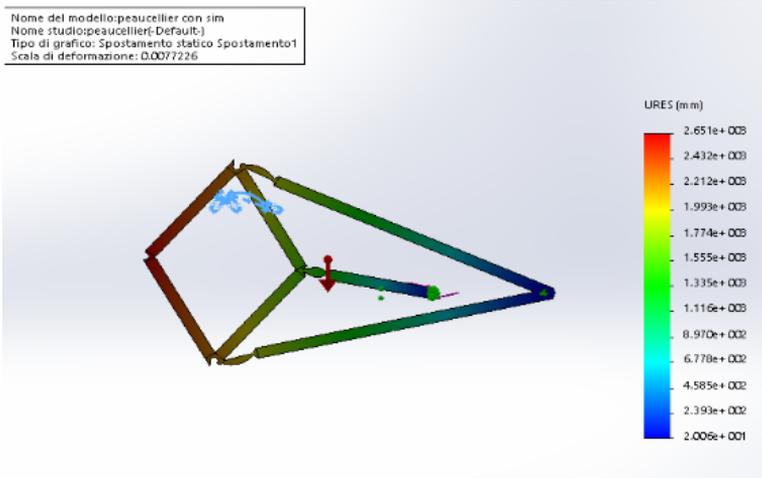


Figura 3.21: Deformazione

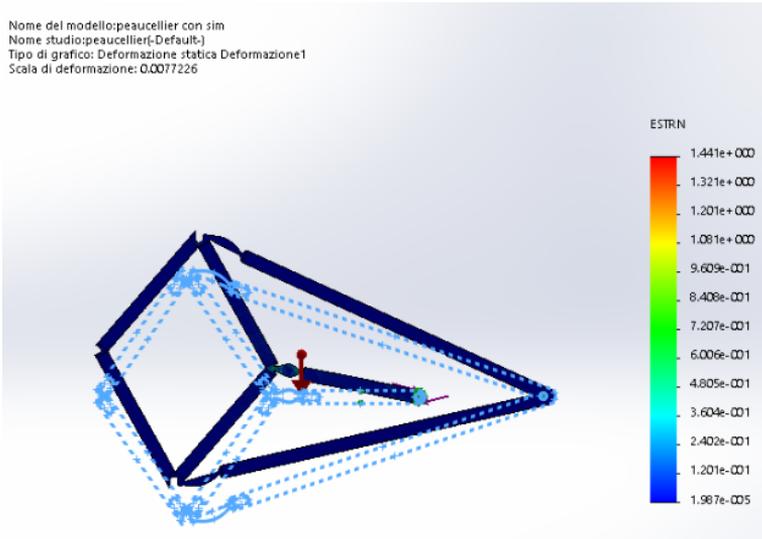


Figura 3.22: Spostamento

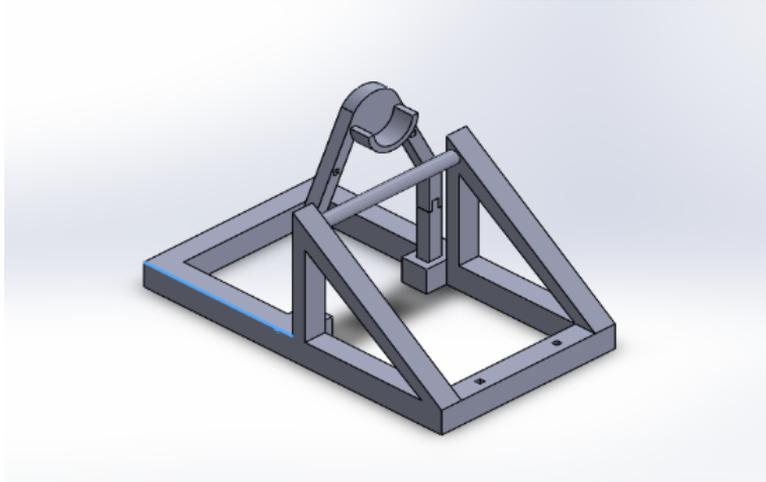


Figura 3.23: Modellazione

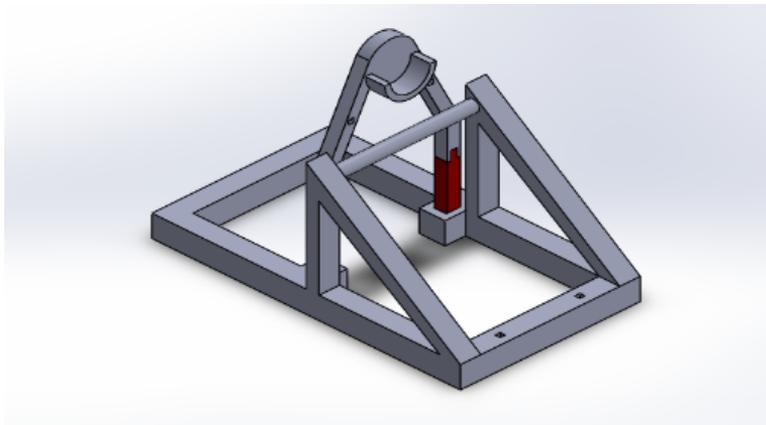


Figura 3.24: Parti flessibili e rigide

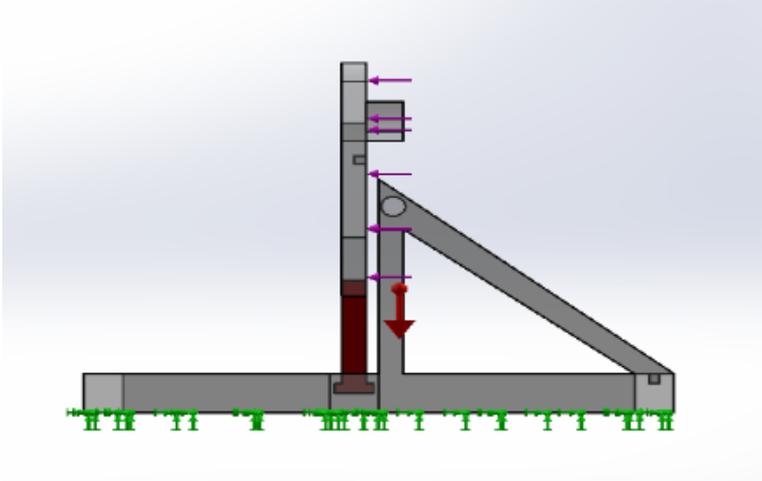


Figura 3.25: Vincoli e forze

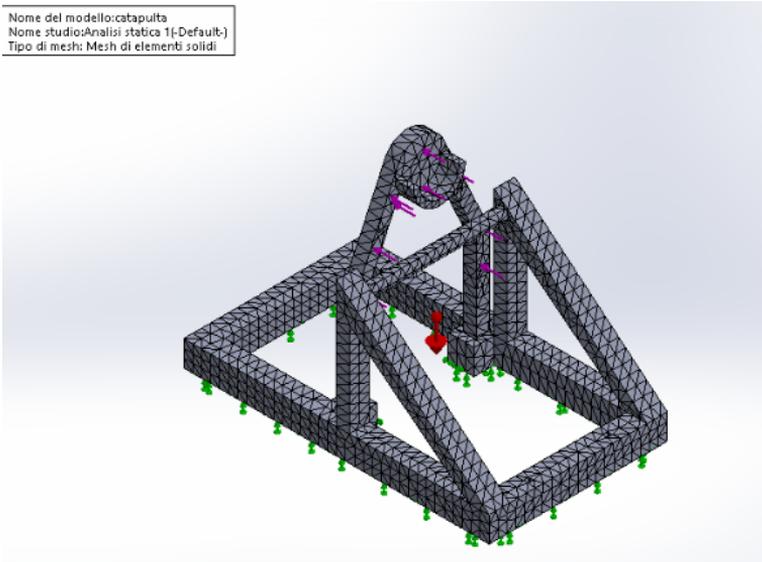


Figura 3.26: Mesh

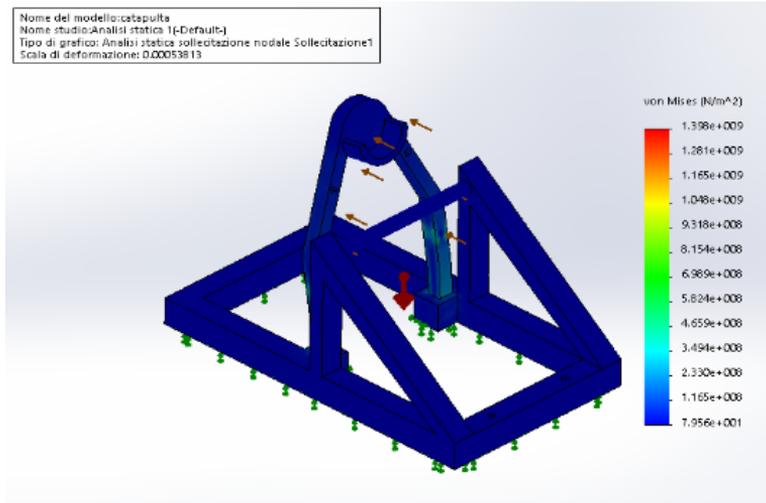


Figura 3.27: Sollecitazione

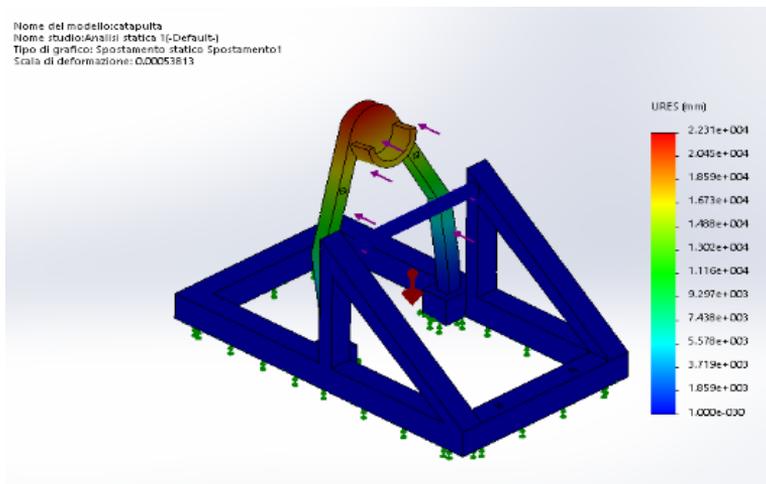


Figura 3.28: Spostamento

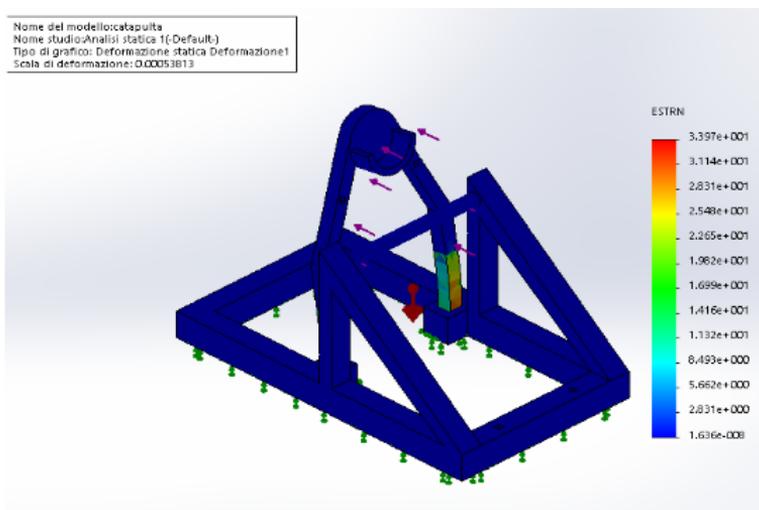


Figura 3.29: Deformazione

Capitolo 4

Progettazione prototipo

In questo lavoro di tesi si è dunque poi proposti di progettare un componente che avesse caratteristiche dal punto di vista dei materiali sia rigide che flessibili, e che queste caratteristiche fossero sfruttate da un punto di vista meccanico, così come potesse essere d'aiuto il concetto di metamateriale. Si è scelto dunque come oggetto da riprogettare un gripper, l'idea è nata dalla nuova emergente industria di robotica soft, di cui si mostrano in seguito alcuni esempi.

4.1 Soft Robotics

La soft robotics è uno dei settori emergenti della biorobotica e smentisce l'assunto secondo il quale un robot, per funzionare, deve necessariamente essere costituito da un insieme di strutture rigide. I soft robot sono robot 'soffici' con capacità di adattamento superiori a quelle dei robot tradizionali: possono allungarsi, torcersi, deformarsi, esattamente come le specie animali e vegetali che imitano. L'Istituto di Biorobotica della Scuola Superiore Sant'Anna di Pisa è uno dei templi mondiali della soft robotics, un punto di riferimento per chi crede nelle potenzialità di questa nuova generazione di robot. Da anni coordina una serie di progetti di ricerca internazionali, alcuni davvero pionieristici. A cominciare da Octopus (Fig. 4.1) e PoseiDRONE, due soft robot che si comportano come dei veri cefalopodi. Dotati di tentacoli, hanno un corpo in gomma e silicone che consente loro di nuotare in spazi angusti, manipolare oggetti e, nel caso di PoseiDRONE, resistere anche ad urti violenti. In futuro potrebbero essere utilizzati per il monitoraggio dei fondali marini o in missioni di recupero e salvataggio.

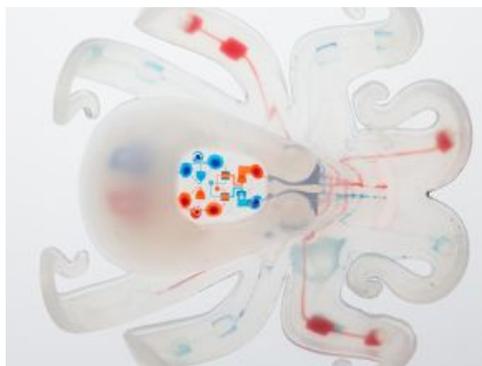


Figura 4.1: Polpo soft

Anche in ambito medico i ricercatori del Sant’Anna hanno offerto un valido contributo, sviluppando il robot chirurgico STIFF-FLOP (Fig. 4.2), un endoscopio a rigidità variabile che garantisce l’esecuzione di interventi complessi attraverso un approccio mini invasivo. Al progetto ha partecipato, tra gli altri, anche l’Istituto Italiano di Tecnologia di Genova che alla soft robotics, ormai da anni, dedica studi e ricerche ad ampio raggio.



Figura 4.2: Robot chirurgico

Da Plantoid ,pianta robot con radici sensorizzate pensata per l’esplorazione del

sottosuolo e la bonifica ambientale ,a SoftHand Pro, una mano robotica in materiale plastico collegata all'avambraccio tramite sensori che recepiscono gli impulsi muscolari(Fig. 4.3). Stampata in 3D, SoftHand Pro non necessita di intervento chirurgico per essere impiantata.



Figura 4.3: Mano robotica

Al Massachussets Institute of Technology di Boston è stato realizzato un altro soft robot molto particolare: si tratta di un robot invisibile realizzato con l'idrogel, una sostanza composta per la quasi totalità di acqua(Fig. 4.4). L'idrogel è morbido e molto resistente. Il robot invisibile è un composto di acqua e riesce a mimetizzarsi alla perfezione proprio in acqua. È dunque un robot subacqueo. Per dare un'idea delle sue capacità i ricercatori del MIT hanno mostrato un video nel quale questo robot soffice riesce ad afferrare e rilasciare un pesce rapidamente e senza fargli male.

Il robot invisibile del MIT potrebbe essere utilizzato nel settore medico. L'idrogel oltre a essere morbido e resistente è anche biocompatibile, compatibile con gli organi umani. Tra le utilizzazioni future non si esclude la possibilità di realizzare una mano robotica per la manipolazione di tessuti e organi durante le operazioni chirurgiche più delicate.

Concludiamo la nostra rassegna con un robot da guinness dei primati. La Scuola di Ingegneria e Scienze Applicate dell'Università di Harvard ha realizzato un soft robot in gomma silconica praticamente indistruttibile(Fig. 4.5). Si muove in modo autonomo, resiste al fuoco, all'acido e a temperature ampiamente sotto lo zero. Funziona a batterie e può sollevare carichi fino a 3,4 kg. Come Octopus e PoseiDRONE, potrebbe essere impiegato per esplorare zone pericolose e inaccessibili all'uomo.

Si mostrano di seguito altri esempi del campo, per avvicinarci all'idea dalla quale è scaturita la progettazione(Fig. 4.6)(Fig. 4.7)(Fig. 4.8)(Fig. 4.9)(Fig. 4.10).



Figura 4.4: Soft robot invisibile



Figura 4.5: Soft robot in gomma siliconica



Figura 4.6: esempio a



Figura 4.7: esempio b



Figura 4.8: esempio c

4.2 Il gripper dell'azienda Soft Robotics Inc.

In tutti questi casi i robot si muovono grazie all'ausilio di attuatori, quindi con l'ausilio specifico dell'elettronica oltre che delle proprietà del materiale. Il caso dal quale si è presa ispirazione è quello della Soft Robotics che produce un tipo di gripper per l'industria alimentare il quale sfrutta l'immissione di aria per far modificare la forma del materiale, che si gonfia e permette la presa degli oggetti(Fig. 4.11).



Figura 4.9: esempio d

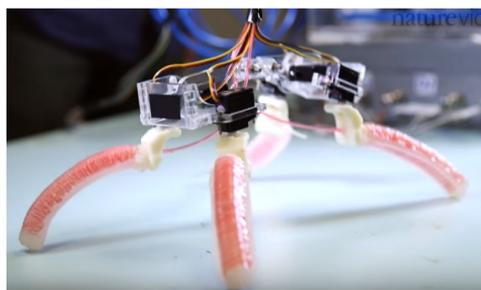


Figura 4.10: esempio e

Sul sito dell' azienda produttrice esso viene descritto come: "Una nuova classe di



Figura 4.11: gripper

pinze robotiche che sono adattive, ripetibili e affidabili. Le nostre pinze avanzate (tecnicamente parlando, sono elastomeri morbidi azionati ad aria) consentono applicazioni industriali che in precedenza erano vietate all'automazione.

Dalla logistica di magazzino che comprende oggetti di dimensioni, forma e peso

imprevedibili, all'assemblaggio avanzato che attualmente richiede manodopera e manipolazione degli alimenti importanti dove sono importanti igiene e manipolazione delicata, le pinze morbide Soft Robotics sono progettate per eccellere laddove la tecnologia robotica convenzionale è insufficiente.

Con gli attuatori di Soft Robotics, food and beverage e robotica industriale possono gestire in modo adattivo oggetti di varie dimensioni, forma e peso con un unico dispositivo facile da usare, eliminando la necessità di modifiche degli strumenti e complessi requisiti di visione e trasformando le possibilità di automazione.

Il nostro sistema completamente integrato è pronto per il plug-and-play con le apparecchiature di robotica già in uso. Soluzioni per difficili sfide di automazione in settori come Food and Beverage, Advanced Manufacturing ed eCommerce and Logistics possono essere rapidamente sviluppati e consegnati."

Viene poi descritta l'unità di controllo(Fig. 4.12):"Il nostro controller ad alta velocità (> 3 Hz) con precisione al millisecondo garantisce azioni ripetibili e affidabili. Compatibile con tutti i controller di robot commerciali presenti sul mercato, l'unità di controllo Soft Robotics fornisce integrazione chiavi in mano; non sono necessari componenti aggiuntivi o hardware di controllo."

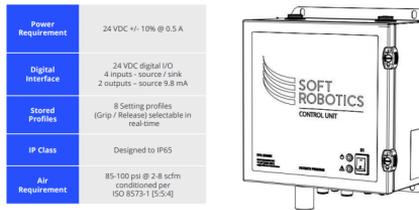


Figura 4.12: Control Unit

Da questa idea di robotica soft e dal concetto di metaobject nasce l'idea per questo lavoro di tesi. L'intento è quello di ottenere un componente che sfrutti questa volta esclusivamente la meccanica e non più l'elettronica insieme alle proprietà di rigidità e flessibilità dei materiali. In fase di pre-progettazione si è pensato che questo potesse avere dei vantaggi:

- Produzione componente in una sola fase sfruttando il metodo di fabbricazione additiva FDM.
- Eliminazione di molti componenti , quali attuatori, aria compressa, e tutti quelli necessari dal punto di vista dell'elettronica.

Bisognerà in fase successiva alla produzione del prototipo valutare i benefici in termini di costi e tempo.

4.3 Il progetto del gripper

Si è partiti dunque dalla progettazione di un comune gripper meccanico , andando poi a smembrare le singole parti per inserire metameccanismi e rendere il primo prototipo facilmente riproducibile e meccanicamente appropriato per l’FDM . Di seguito se ne mostrano le immagini(Fig. 4.13)(Fig. 4.14)(Fig. 4.15).

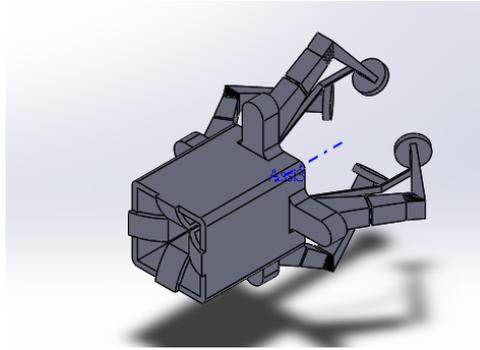


Figura 4.13: prototipo iniziale

Il meccanismo di funzionamento inizialmente sfruttava l’utilizzo di filamenti collegati ai singoli ganci di presa ed una macrocella in ottica metamateriale posta all’interno del telaio a sezione rettangolare . Spingendo la macrocella i filamenti venivano spinti verso l’alto e consequenzialmente anche i ganci tirati verso l’alto permettendo di stringere la presa del gripper. Successivamente si è andato a modificare il progetto in maniera tale da eliminare quante più parti riconducibili al design adottato in meccanica classica e l’abolizione dei filamenti con l’integrazione di essi nel gancio stesso.

4.3.1 Celle per metamateriali

Per rendere più chiaro il meccanismo di funzionamento considerato è necessaria una panoramica sulle forme di cella per metamateriali più comunemente utilizzate, prendendo spunto da un articolo accademico "Three decades of auxetics research-material with negative poisson’s ratio: a review" di Krishna Kuman Saxena, Raj Das

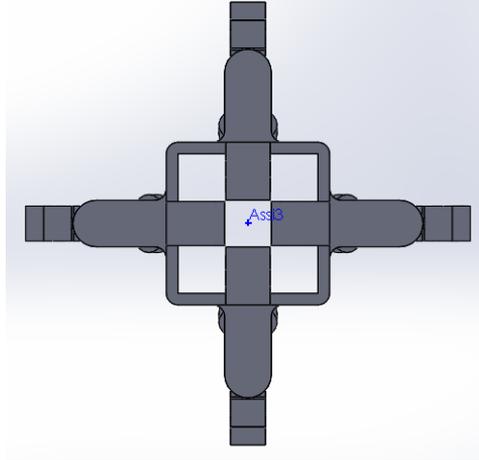


Figura 4.14: prototipo iniziale

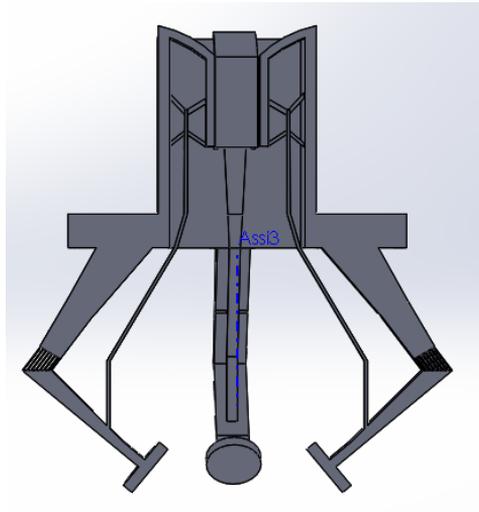


Figura 4.15: sezione prototipo iniziale

e Emilio P. Colius. Il concetto di metamateriale è da sviscerare andando a fare una rivisitazione del significato del concetto di materiale auxetico. I materiali auxetici e le strutture auxetiche sono una nuova classe di materiali che hanno l'interessante proprietà del modulo di Poisson negativo. Questa particolarità permette di migliorare le proprietà meccaniche dei componenti. Dunque la questione del modulo

negativo di Poisson non è un'ipotesi, bensì un dato riscontrabile nei materiali fatti dall'uomo. La proprietà è riscontrabile nel fatto che i materiali diventano più corti in direzione trasversale, quando compressi in direzione longitudinale e viceversa. Basandosi sui meccanismi di deformazione le strutture cellulari auxetiche possono essere classificate in:

- Tipo rientrante, a questo appartengono la struttura honeycomb, a doppia freccia e a forma di stella;
- Chiral type, non sovrapponibile su un'immagine a specchio, le strutture consistono in legamenti attaccati tangenzialmente ad anelli rigidi;
- Rotating units, in queste strutture c'è la rotazione di poligoni rigidi.

Si mostrano di seguito le immagini esplicative per le categorie suddette (Fig. 4.16) (Fig. 4.17) (Fig. 4.18).

Classification	Type of auxetic structure	Geometry	Key points
Re-entrant type	2D Re-entrant Evans ^[16,21]		<ol style="list-style-type: none"> 1) Conventional hexagonal auxetic structure. 2) Auxetic behavior depends on length of horizontal rib, length of inclined rib, thickness and depth of ribs, and angle of inclined rib with the vertical. 3) When a tensile force is applied in horizontal direction, the ribs move outward and the structure expands in vertical direction giving rise to auxeticity.
	2D Re-entrant triangular ^[17,18]		<ol style="list-style-type: none"> 1) A triangular geometry with re-entrant edge. 2) The auxetic behavior depends on length of the ribs and angle between the ribs.
	3D Re-entrant variant 1 ^[144]		<ol style="list-style-type: none"> 1) The 3D versions of 2D re-entrant structure. The two 2D structures are aligned perpendicular to each other. 2) Variant 1 is obtained by rotating the 2D structure 90° about X axis and variant 2 is obtained by rotating the structure 90° about Y axis.

Figura 4.16: tipo 1

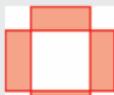
Classification	Type of auxetic structure	Geometry	Key points
Rotating polygons	Rotating squares ^[26]		<ol style="list-style-type: none"> 1) Auxetic behavior arising from rotation of connected squares. 2) The rotating square model is constrained not to shear. 3) Poisson's ratio nearly equal to -1
	Rotating rectangles variant 1 (Empty loops are squares) ^[27]		<ol style="list-style-type: none"> 1) Auxetic behavior arising from rotation of connected rectangles. 2) Generalized version of rotating squares model. 3) Anisotropic and Poisson's ratio depends on aspect ratio of rectangles, angle between them, and direction of loading.
	Rotating rectangles variant 2 (Empty loops are rectangles) ^[27]		<ol style="list-style-type: none"> 1) Isotropic structures and Poisson's ratio are close to -1 and independent of rectangle dimensions, angle between rectangles and direction of loading.

Figura 4.17: tipo 2

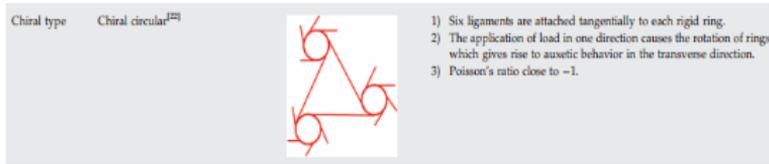


Figura 4.18: tipo 3

Nel caso del nostro prototipo si è cercato di sfruttare queste strutture, in particolare di creare una macrocella unica appartenente alla categoria re-entrant type 2d di Evans (Fig. 4.19). In tal caso il modulo di poisson è dato dalla relazione: $\nu_{12} = \nu_{21} = -1$

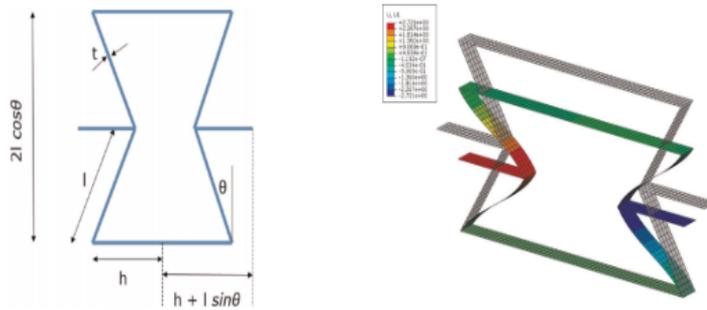


Figura 4.19: cella

Possiamo riassumere le caratteristiche di questa cella :

- Questo tipo ha una struttura esagonale convenzionale.
- Il comportamento auxetico dipende dalla lunghezza del fiocco orizzontale, del fiocco inclinato, spessore e profondità del fiocco, insieme all'angolo di inclinazione del fiocco con la verticale.
- Quando la forza è applicata in orizzontale la struttura si espande in verticale dando luogo alla auxeticità

4.4 Il prototipo

Per la produzione del primo prototipo vista la struttura modulare del componente si è andata a considerare solo una delle quattro porzioni. Si mostra la figura del

prototipo finale prima della prima produzione, lo spessore è stato ridotto a 10mm e si è deciso di stampare solo la porzione che interessasse la macrocella , escludendo scatolato e gancetti(Fig. 4.20).

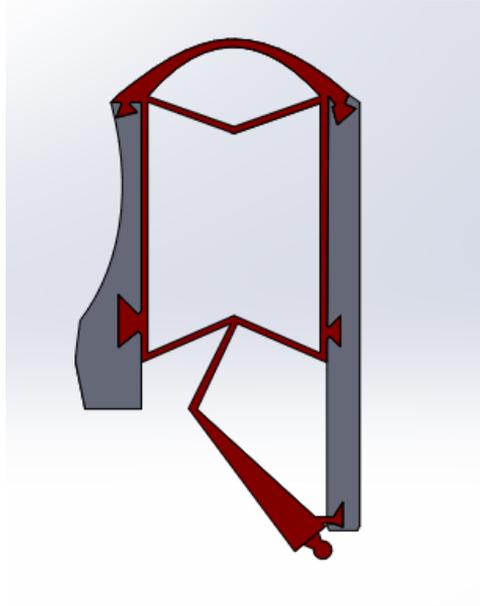


Figura 4.20: prototipo meccanismo

La parte colorata in rosso rappresenta quella in materiale flessibile ,quella di colore grigio la parte rigida. Sono stati utilizzati dei gancetti che mediante la creazione di sottosquadro facessero mantanere unite le tre parti di componente .Per fare in modo che la stampa riuscisse non si è sceso al di sotto di 1 mm a livelli di spessori nel pezzo. Di seguito si mostrano le tabelle materiale per le due parti.

- Materiale rigido(PETG)(Fig. 4.21).
- Materiale flessibile (TPU)(Fig. 4.22)

4.5 Relazioni analitiche della struttura

Di seguito si mostrano i calcoli analitici utilizzati prima di produrre il prototipo per valutare se effettivamente geometricamente ci fosse stata la possibilità di movimento(Fig 4.23).

PROPRIETA' FISICHE			
Proprietà	Metodo	Unità di misura	Veralite® 200
Peso specifico	ISO 1183	g/cm ³	1,27
Assorbimento d'acqua	ISO 62	%	0,15
PROPRIETA' MECCANICHE			
Proprietà	Metodo	Unità di misura	Veralite® 200
Resistenza alla trazione	ISO 527	Mpa	51,5
Allungamento a rottura	ISO 527	%	> 100
Modulo di trazione	ISO 527	Mpa	± 2200
Resistenza all'urto senza intaglio	ISO 180	KJ/m ²	no scoppio
Resistenza all'urto con intaglio	ISO 180	KJ/m ²	9,0
Durezza Rockwell	DIN 2039	M/R	M85/R115

Figura 4.21: PETG

Raw material: polymer alloy (94% TPU)

Designation: 3d printing material

Supplier: Jdeal-Form srl

Mechanical properties

Type	Test Method	Metric
Tensile Modulus	ASTM D638	12Mpa
Yeld Point	ASTM D638	4Mpa
Tensile Elongation at Yeld	ASTM D638	65%
Tensile Strenght Ultimate	ASTM D638	12Mpa
Tensile Elongation at Break	ASTM D638	670%

Figura 4.22: TPU

Si riportano i valori delle grandezze rappresentate nello schema in figura:

- $a \simeq 58mm$
- $b = d \simeq 27,5mm$
- $c \simeq 29mm$
- $e = f \simeq 50mm$
- $A \simeq 47,5\checkmark$
- $B \simeq 107,35\checkmark$
- $C \simeq 90\checkmark$
- $D \simeq 114\checkmark$

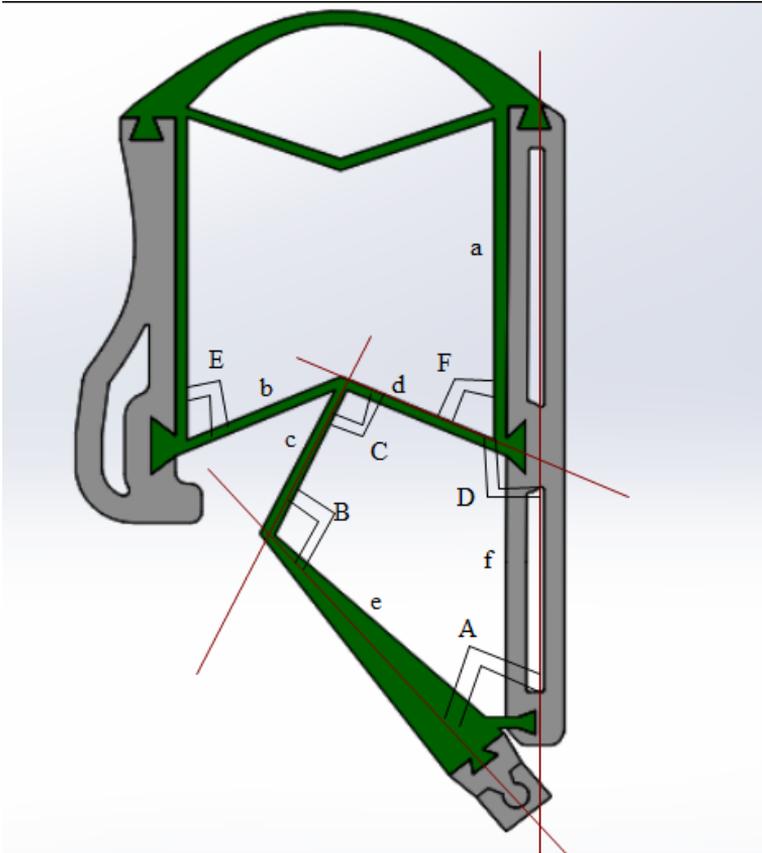


Figura 4.23: schema

- $E = F \simeq 66,37\checkmark$

In configurazione indeformata questi sono dunque i valori delle grandezze nello schema. Ipotizziamo di avere una forza di pressione da sinistra che tende a far chiudere a pacchetto la macrocella, avremo:

- $A \simeq 0\checkmark$
- $B \simeq 180\checkmark$
- $C \simeq 0\checkmark$
- $D \simeq 180\checkmark$
- $E = F \simeq 0\checkmark$

Ciò è reso possibile anche dalla costituzione strutturale, poichè:

- $b \simeq d$
- $d \simeq c$
- $e \simeq f$
- $d < a$ Dunque chiudendo a pacchetto la struttura, ossia esercitando una forza laterale sulla struttura si avrà una rotazione del punto di aggancio al braccetto pari a $47,5^\circ$.

4.6 Angoli modulari

Di seguito andiamo a mostrare le parti modulari rigide che sono rappresentate dagli angoli del gripper e dai ganci(Fig. 4.24). Esse sono state concepite per essere prodotte in petg materiale rigido capace di dare forma alla struttura del componente, inoltre queste parti sono state concepite svuotate in alcuni punti per una questione di risparmio materiale ed alleggerimento struttura, i punti pieni sono quelli necessari alla solidità strutturale.

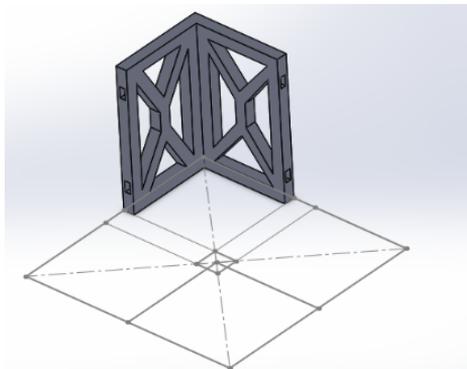


Figura 4.24: esempio

Queste parti saranno prodotte singolarmente in numero di 4 pezzi ciascuna e poi assemblate successivamente al componente.

4.7 Ganci modulari

In questo lavoro si ci è proposti di rendere quanto più possibile il gripper modulare ed intercambiabile. Si è deciso di rendere il più possibile i ganci di presa modulari, in particolare per la nostra sperimentazione finale si sono scelte due forme di oggetto da prendere con il gripper, ciò dovrebbe essere possibile grazie al fatto di avere gancetti intercambiabili. Le forme scelte sono quelle di un cono ed un cilindro. Prima di essere prodotto dunque il gripper è stato reso modulare aggiungendo un attacco rigido sul quale sarà possibile montare il gancio(Fig. 4.25)(Fig. 4.26).

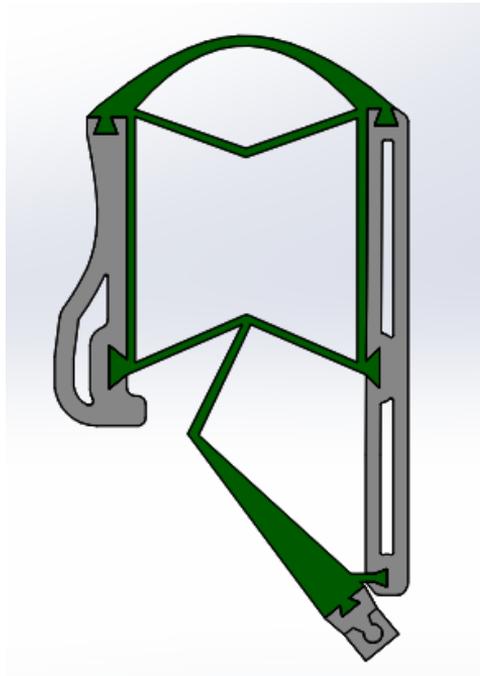


Figura 4.25: Gripper con attacco per gancio modulare

Si mostrano di seguito le forme che si è scelto di prendere in considerazione sulle quali il punto di presa del gripper è stato modellato.

Dunque si mostra la configurazione di braccetto scelto per la produzione(Fig. 4.27)(Fig. 4.28), esso è stato snellito come tutte le parti del gripper per una questione di risparmio di materiale e sono state create delle sferette di aggancio con una piccola battuta, da un lato per essere collegato al meccanismo con macrocella



Figura 4.26: Forme da agganciare

dall'altro per collegare quando si voglia una diversa configurazione di gancetto a seconda dell'oggetto da agganciare.



Figura 4.27: Braccetto per gancio modulare

E' chiaro che allungando il braccetto e variando l'angolo di inclinazione si possono ottenere aree di presa differenti e altezze di presa differenti ,nel nostro caso la costruzione è stata fatta ad hoc , considerando due celle poste in maniera specchiata, quindi avendo due bracci , dando una pressione sulla cella si ha la chiusura dei bracci. Si mostrano di seguito le modellazioni dei gancetti per la forma di cono e cilindro(Fig. 4.29)(Fig. 4.30).

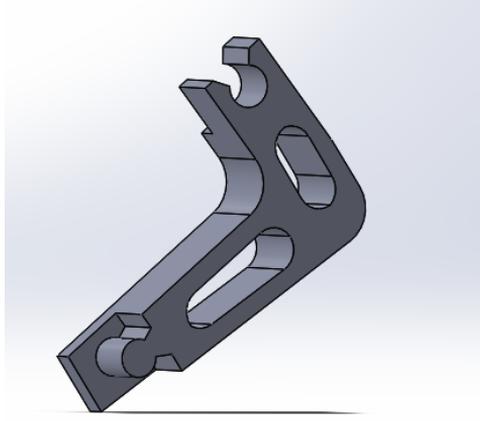


Figura 4.28: Braccetto con battuta per gancio modulare

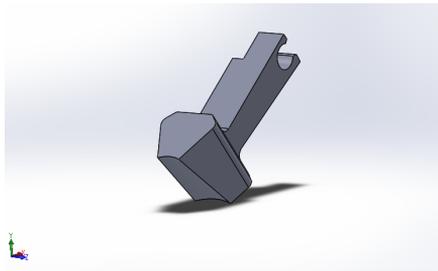


Figura 4.29: gancio per cono

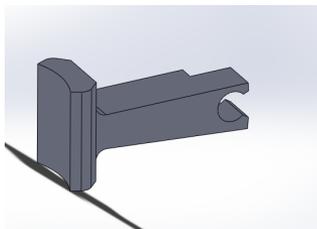


Figura 4.30: gancio per cilindro

4.8 Il Telaio

Si è scelto inoltre di aggiungere per la dimostrazione del funzionamento del prototipo un telaio che permettesse di mettere due macrocelle in maniera specchiata, cos' da riuscire a simulare la presa dell'oggetto, si mostra la modellazione in figura(Fig. 4.31):

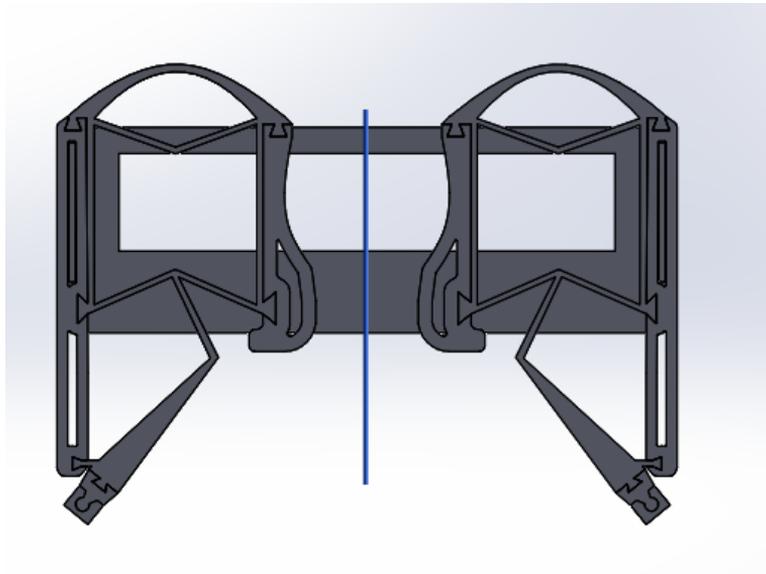


Figura 4.31: Telaio

4.9 La simulazione

SolidWorks Simulation fa parte della suite SolidWorks e consente di esaminare il comportamento reale di un prodotto per migliorarne l'affidabilità nel modo più conveniente. SolidWorks Simulation fornisce un'ampia gamma di strumenti per analizzare la struttura, il movimento e la multifisica di parti e assiemi o per studiare la fluidodinamica e i flussi di calore del progetto. Si fa apprezzare sia per la semplicità di implementazione che per la ricchezza degli strumenti di analisi, offrendo la concreta possibilità di creare scenari ipotetici all'interno di un'area di lavoro senza alcun rischio, grazie ad un ambiente di testing virtuale in cui sviluppare i nuovi progetti che consente di ridurre il time-to-market. Dalla simulazione

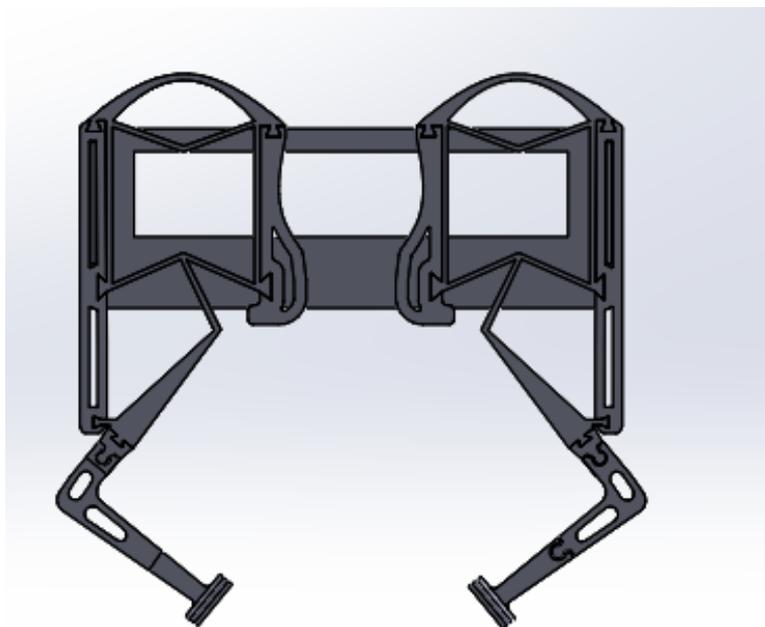


Figura 4.32: Telaio con gripper per cilindro

ottenuta i risultati sono soddisfacenti sia dal punto di vista di tensioni e deformazioni che dal punto di vista dello spostamento ottenuto, in quanto è evidente una rotazione dal gancio del gripper (Fig. 4.31)(Fig. 4.32)(Fig. 4.33).

I parametri della simulazione ottenuta mediante il software Solidworks sono:

- incastro sulla faccia esterna del gripper;
- una forza distribuita di 10N (1kg) sulla superficie interna;
- una mesh di dimensione media impostata dal software;
- il contatto globale tra i componenti è unito;

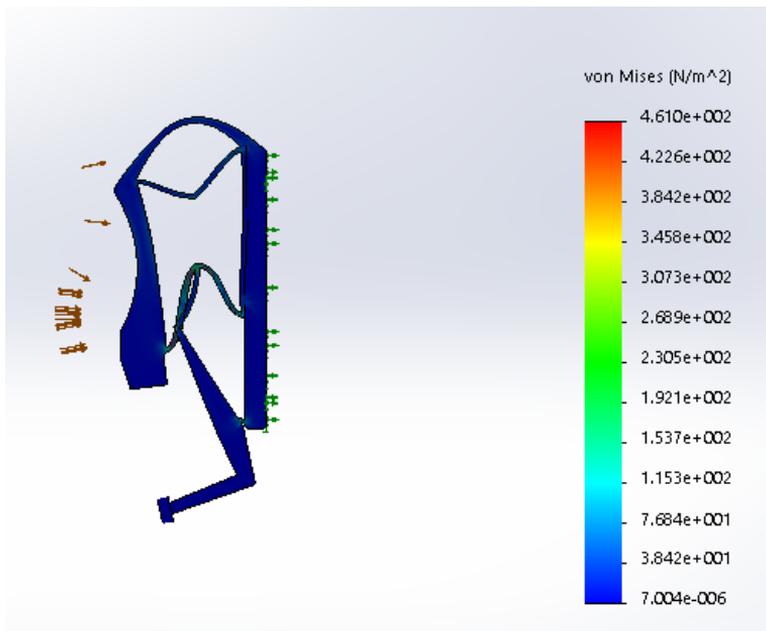


Figura 4.33: Sforzi

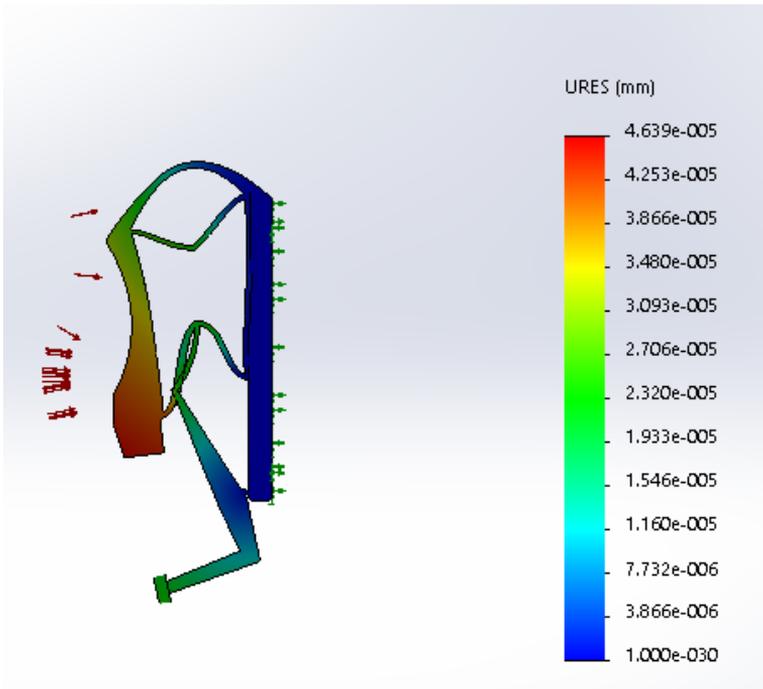


Figura 4.34: Spostamento

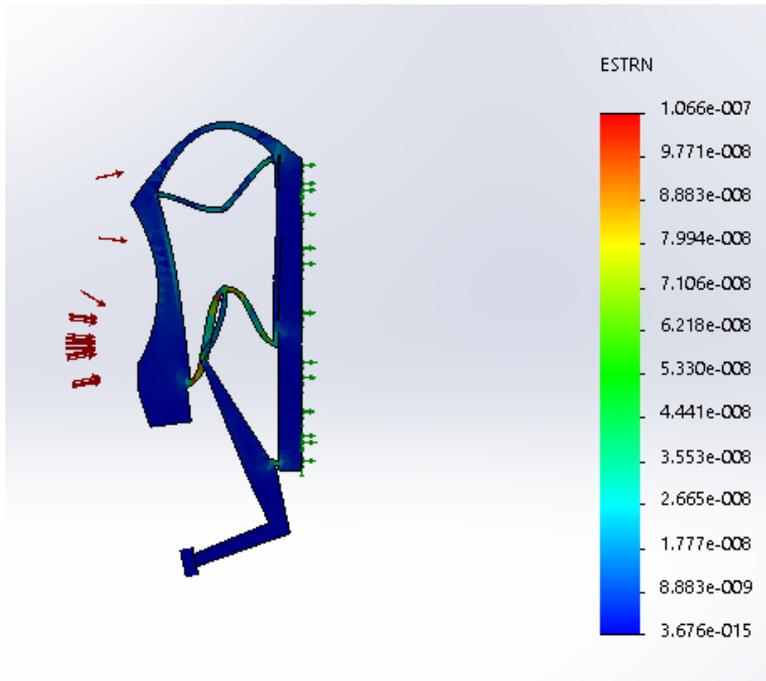


Figura 4.35: Deformazioni

Capitolo 5

Produzione prototipo

5.1 La macchina

La produzione del prototipo è stata effettuata mediante tecnica FDM, mediante una macchina 3ntr, modello A4(Fig. 5.1), che presenta tre estrusori, di seguito se ne mostrano le specifiche reperibili sul sito del fornitore(Fig. 5.2). Il modello A4 è indicato per uffici progettazione, così come nei reparti di produzione. Buon volume di stampa e movimenti molto precisi, consentono di affrontare ogni tipologia di lavoro. Costituita da una solida struttura di metallo, non è necessario tarare il piano di lavoro. Stampa qualsiasi termoplastico grazie ad estrusori che possono arrivare oltre i 400 gradi.

5.2 La stampa del componente bi-materiale

I materiali utilizzati sono stati per supporto e pezzo parte rigida il PETG, per pezzo parte flessibile il TPU. Sono state impiegate circa 3h dalla macchina per il processo di stampaggio, con un altezza z del prototipo di 11mm , 10 mm di prototipo ed 1mm di supporto. Il tipo di riempimento considerato è stato della forma a "griglia" al 50 per cento, in seguito si mostrano le immagini delle schermate del software Kisslicer utilizzato per il Gcode (Fig. 5.3)(Fig. 5.4)(Fig. 5.5)(Fig. 5.6)(Fig. 5.7)(Fig. 5.8)(Fig. 5.9)(Fig. 5.10)(Fig. 5.11). Il Codice G (dall'inglese G-code) o codice preparatorio o funzione sono funzioni nel linguaggio di programmazione del controllo numerico. I codici G sono dei codici che posizionano il dispositivo ed eseguono il lavoro, in opposizione al codice M, che gestisce la macchina; T sta



Figura 5.1: 3ntr

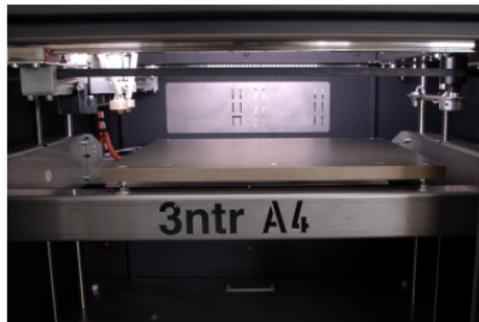


Figura 5.2: 3ntr

per il codice in relazione allo strumento (Tool). S e F corrispondono a tool-Speed (velocità) e tool-Feed (risposta-ritorno), e infine il codice D per compensazione. I GCode, infatti, si usano per comporre una lunga sequenza di comandi per descrivere il lavoro di una macchina utensile in modo preciso e ripetibile. A volte si sente anche parlare di linguaggio di programmazione 'G'. Ogni istruzione corrisponde a un'azione della macchina. Questo linguaggio semplice è sopravvissuto perché può essere trattato anche da piccole unità di elaborazione, come una scheda Arduino. Le sequenze di GCode si utilizzano per controllare ogni tipo di macchina a controllo numerico (Cnc), come possono esserlo frese a tre assi, laser cutter e le stampanti 3D. Ogni stampa 3D nasce da un modello, progettato utilizzando un programma Cad o da un modellatore tridimensionale, che si esporta in uno dei formati standard.

I più comuni sono Stl, Obj e il più recente Amf. Tutti descrivono i modelli in modo più semplice possibile per facilitare la creazione dei G-code. I file di tipo Stl sono forse quelli con il formato più semplice, perché non prevedono nient'altro che una descrizione 'per triangoli' dei modelli tridimensionali. I G-code sono prodotti da un programma Cam (Computer Aided Manufacturing), che analizza il file in ingresso e calcola i movimenti della macchina che si dovrà utilizzare per ricreare 'fisicamente' l'oggetto, per questo è importante che i file siano 'semplificati'. Il Cam deve inoltre conoscere tutti i parametri e le caratteristiche della macchina che compirà il lavoro: tipo di lavorazioni, misure del piano di lavoro, caratteristiche dell'utensile, velocità di rotazione, temperatura di funzionamento, pressione. Il compito non è certo semplice. I Cam più complessi cercano di ottimizzare i percorsi della macchina per creare degli oggetti dalle caratteristiche migliori ed evitare che la macchina danneggi lo stesso oggetto che sta realizzando. In molti casi, soprattutto utilizzando delle frese a controllo numerico, è meglio analizzare il 'programma' con dei simulatori. I programmi come kisslicer hanno bisogno dei seguenti passi per creare un profilo di slicing:

- Apertura software
- Impostare la stampante
- Scegliere le velocità di stampa
- Configurare lo start Gcode
- I materiali di stampa
- La Tab Style e i parametri di stampa
- Diminuire la cordonatura/seam
- I supporti di stampa
- Calibrare il tempo stimato di costruzione

Di questi passaggi quello che è di maggiore interesse per noi e che vale la pena esplicitare è sicuramente quello dei parametri di stampa utilizzati. Riportiamo quindi i principali parametri di stampa:

- Spessore layer pari a 0.25mm;
- Larghezza dell'estrusione pari a 0.3mm;
- Riempimento del 50 per cento;
- Materiale per supporto PETG;
- Materiale sull'estrusore 1 TPU;
- Materiale sull'estrusore 2 PETG;

- Dimensioni del letto x=299mm,y=162mm,z=190mm;
- velocità x, y 200mm/s;
- velocità z 6mm/s;
- Diametro del filamento TPU 2.85mm;
- Diametro del filamento PETG 2.85mm;
- Temperatura di estrusione PETG 225°C;
- Temperatura letto 70°C;

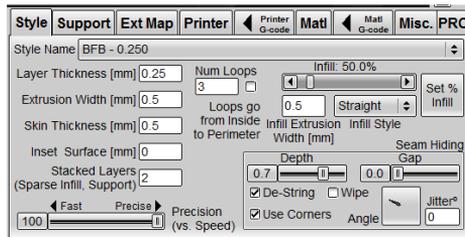


Figura 5.3

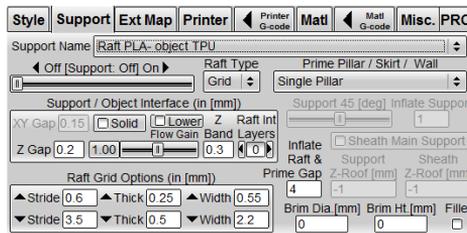


Figura 5.4

In fase di stampaggio la macchina ha eseguito due layers per volta, alternando così l'utilizzo dei due estrusori, nella pausa fra i due layers l'estrusore si sposta facendo un giro sul fiore che si vede nell'immagine (Fig. 5.12), questo per ritarsi e espellere tutti gli eventuali difetti di stampa successivi. Le difficoltà riscontrate sono state perlopiù dovute alla iniziale mancanza di aderenza fra i materiali scelti, ad esempio per questo tipo di stampante risultava difficile far aderire bene ABS e TPU, il problema è stato risolto con l'accoppiamento PETG-TPU.

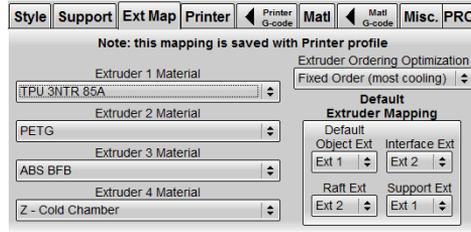


Figura 5.5

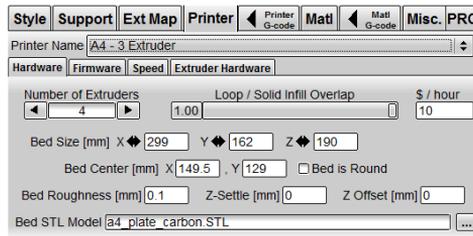


Figura 5.6

5.3 Il prototipo completo

La prima stampa del prototipo ha interessato semplicemente il meccanismo "macrocella" successivamente sono stati stampati braccio e gancetti.

Per gli incastri necessari alla modularità si è scelto un gioco pari a 0,25 mm, che risultava il più indicato. Inoltre i gancetti sia a forma di cono che cilindro hanno avuto necessità di integrare un pò di materiale flessibile TPU sulla superficie di presa, in quanto esso ha una maggiore resistenza a taglio dovuta all'attrito.

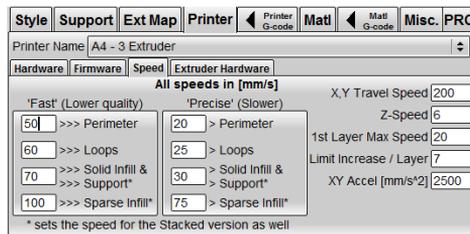


Figura 5.7

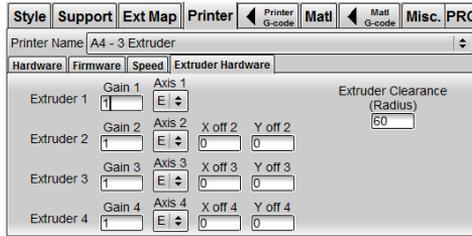


Figura 5.8

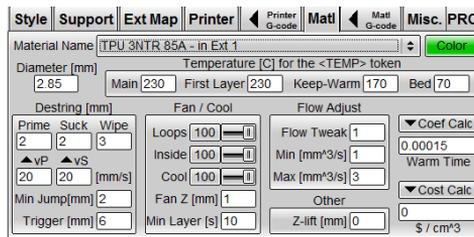


Figura 5.9

Si mostrano alcune immagini dei pezzi stampati (Fig. 5.13)(Fig. 5.15)(Fig. 5.16)(Fig. 5.17)(Fig. 5.18)(Fig. 5.19).

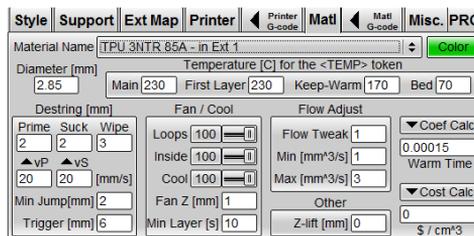


Figura 5.10

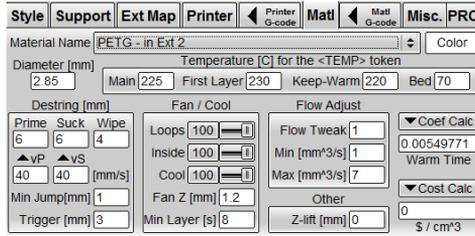


Figura 5.11

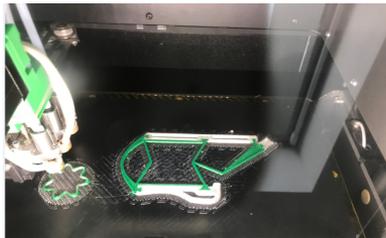


Figura 5.12: stampaggio bi-materiale

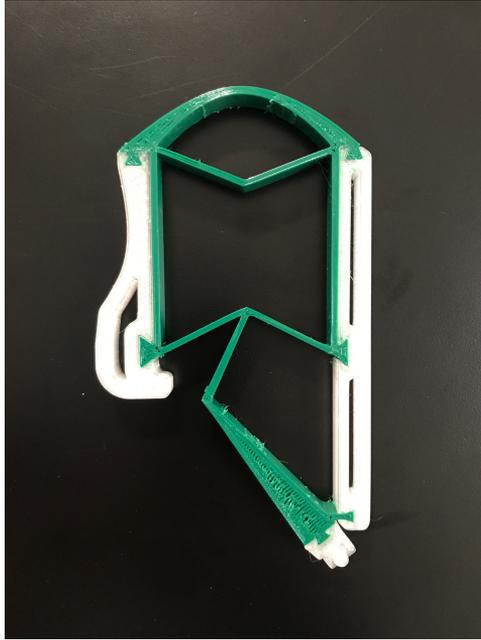


Figura 5.13: prototipo macrocella

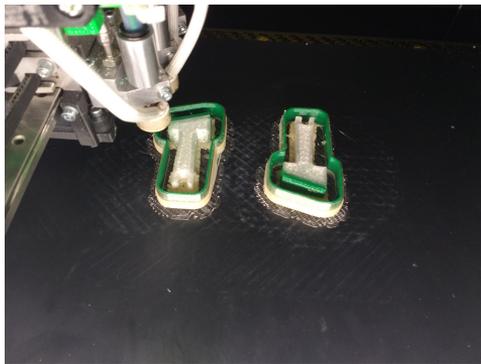


Figura 5.14: gancetti per cono



Figura 5.15: braccetto



Figura 5.16: Telaio



Figura 5.17: Telaio con macrocelle

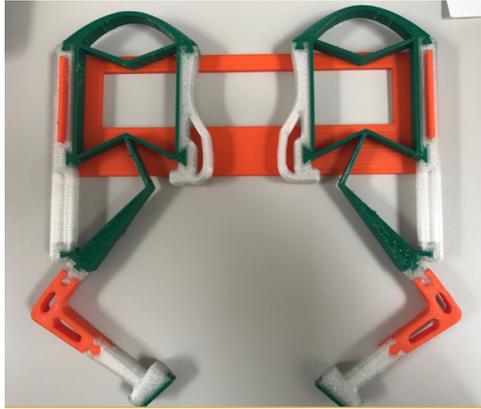


Figura 5.18: Prototipo completo modulare stampato

Capitolo 6

Conclusioni

6.1 Risultati

Il risultato ottenuto mediante questo lavoro di tesi è stato di aver realizzato un prototipo effettivamente funzionante, rispetto a quanto ci si era prefissati. Il prototipo ha rispettato sia quantitativamente, sia qualitativamente gli spostamenti imposti. Questo è riscontrabile dai risultati della simulazione e dai calcoli analitici proposti. Anche l'assemblaggio dei due materiali rigido e flessibile ha fornito buoni risultati. Altro aspetto che sarebbe stato interessante valutare era quello della forza di presa dei ganci, per valutare la funzionalità del prototipo.

6.2 Problematiche risolte

Tra le varie problematiche riscontrate dobbiamo necessariamente menzionare la progettazione poichè ha richiesto molto lavoro soprattutto nella realizzazione del passaggio fra meccanismi classici e meccanismi che creano movimento demandato alla caratteristica di rigidità del materiale. Altro aspetto fondamentale della progettazione è legato alla scelta fra quali parti del modello lasciare rigide o flessibili nonché l'ottenimento di una giusta modularità del prototipo. Un'altra problematica riscontrata è stata la ricerca di giunti idonei al mantenimento dell'adesione fra i due materiali. Dal punto di vista del processo si sono riscontrate problematiche nella scelta dei materiali da poter utilizzare poichè la macchina FDM con i suoi parametri non risulta fornire buoni risultati con tutte le tipologie di materiali utilizzati. Altra problematica di processo è stata quella di andare a cercare i giochi

per le giunzioni delle parti modulari, dunque è stato necessario effettuare varie prove di stampaggio per poi ottenere il risultato finale.

6.3 Sviluppi futuri

Ad oggi il mercato punta sempre maggiormente alle tecnologie di fabbricazione additiva soprattutto per quanto concerne il discorso rapid-prototyping, poichè tale metodologia permette di abbattere notevolmente tempi e costi. Molto spesso però ci si ferma al discorso prototipazione poichè per la produzione effettiva i tempi si allungherebbero a dismisura, insieme al fatto che i componenti prodotti mediante tecnologie additive presentano soprattutto nei casi dei metalli proprietà meccaniche diverse da quelle ottenibili mediante lavorazioni meccaniche classiche. Nella speranza che tali problematiche possano essere risolte in un futuro prossimo ci si è proposti di affrontare la problematica esposta in questo lavoro di tesi. Il prototipo ottenuto ha più che altro la funzione di rappresentare un'idea: l'abbandono di molti componenti che assolvono ad una funzione meccanica e quindi la loro sostituzione mediante un unico componente che per assolvere al suo compito sfrutti semplicemente le proprietà del materiale di cui è costituito e la forma attribuitagli. Questo avrebbe come risultato un possibile alleggerimento della progettazione e dei componenti utilizzati, poiché il componente sarebbe costituito da un'unica parte che comprende già tutto il necessario per l'assolvimento della funzionalità meccanica, questo discorso varrebbe anche per le parti elettroniche in gioco poichè il numero degli attuatori ad esempio nel caso di un robot andrebbe a diminuire.

Bibliografia

- [1] www.youtube.com/watch?v=o8DoSvv4P3w
- [2] www.youtube.com/watch?v=vRQZ5bqwDbg
- [3] www.youtube.com/watch?v=lsTiWYSfPck
- [4] www.youtube.com/watch?v=xgl_mdzumZE
- [5] www.youtube.com/watch?v=7A_jPky3jRY
- [6] www.youtube.com/watch?v=AuayeQJu1rs
- [7] www.youtube.com/watch?v=JlGKZCus6iw
- [8] www.fastweb.it/web-e-digital/la-storia-della-stampa/
- [9] www.subfornituranews.it/nylon-e-agilus-i-due-nuovi-materiali-di-stratasys
- [10] www.stampa3d-forum.it/nuove-ultimaker-3
- [11] it.wikipedia.org/wiki/Materiale_composito
- [12] tesi.cab.unipd.it/45523.pdf
- [13] www.robotiko.it/soft-robot
- [14] www.link2universe.net/2012-05-09/metafluidi-ricercatori-creano-una-nuova-classe-di-materiali
- [15] www.treccani.it/enciclopedia/metamateriali
- [16] www.sbamet.it/materie-plastiche/
- [17] Saxena et al-2016-Advanced Engineering Materials
- [18] Jiang et al-2016-Advanced Engineering Materials