

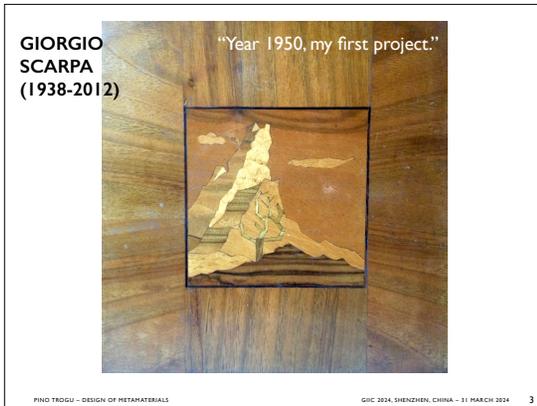
1

Ciao a tutti, mi chiamo Pino Trogu e sono insegnante alla San Francisco State University. Sono onorato di essere qui oggi e vorrei ringraziare gli organizzatori della conferenza e in particolare il Prof. Dai per avermi invitato.



2

Oggi vi presenterò alcuni nuovi metamateriali che in realtà hanno una lunga storia che risale agli anni '70, quando ero uno studente delle scuole superiori e ho avuto la fortuna di avere come insegnante un prof di disegno di nome Giorgio Scarpa.



3

Mentre analizzo alcune immagini del lavoro di questo insegnante, artista e ricercatore, dirò che i metamateriali che vedrete sono stati ispirati dal suo lavoro, dal lavoro di Bas Overvelde e, più recentemente, attraverso una collaborazione con il Prof. Feng di SUSTech.



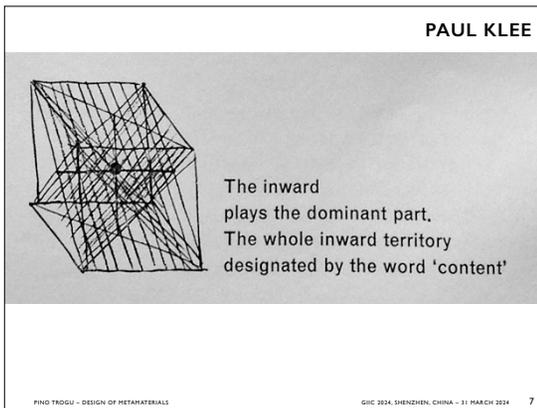
- 4 Scarpa iniziò come pittore ma rivolse rapidamente la sua attenzione alle strutture geometriche modulari in relazione ai sistemi biologici. Lo ha fatto mentre svolgeva il suo parallelo insegnamento di disegno architettonico presso l'Istituto d'Arte di Oristano in Sardegna, Italia.



- 5 Pur smettendo di dipingere, rimase sempre attento a considerare gli aspetti estetici e le connessioni con il mondo naturale che si possono trovare non solo nell'arte ma anche nella geometria e nelle ricerche di tipo tecnico.

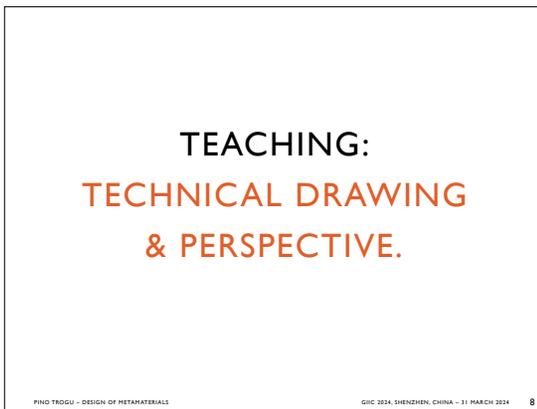


- 6 Una volta gli chiesi quale fosse stata la sua ispirazione per le ricerche sulla geometria rotatoria e la topologia che perseguiva in modo così creativo, e lui fece cenno al pittore svizzero Paul Klee, di cui aveva studiato le lezioni del Bauhaus.



7

È stato in queste lezioni di Klee che ha trovato ispirazione, come in questa didascalia per uno schizzo dei piani interni di un cubo, dove la parola “contenuto” assume molteplici significati che invitano e incoraggiano la curiosità.



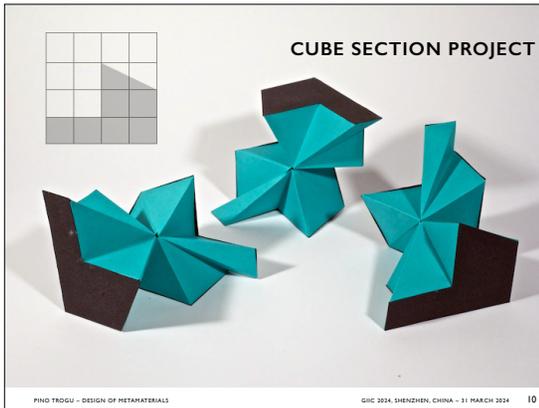
8

Sebbene insegnasse ufficialmente disegno tecnico e prospettiva, le sue lezioni erano sempre molto di più e spesso coinvolgevano la modellistica e le dissezioni dei poliedri.



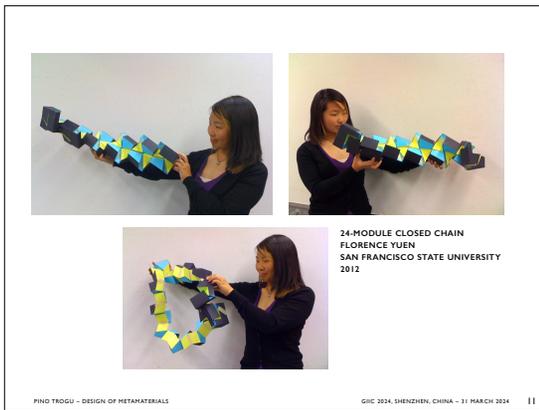
9

L'aula di Scarpa era un laboratorio di geometria con modelli ovunque, allo stesso modo in cui un laboratorio naturalistico avrebbe avuto esemplari naturali ovunque.



10

Uno dei suoi progetti, che ancora insegno ai miei studenti a San Francisco, prevede la sezione di un cubo in due o tre parti uguali e identiche.



11

Di tanto in tanto, uno studente avventuroso porta avanti il progetto e collega insieme le parti sezionate per formare catene di moduli che possono ripiegarsi in un volume minimo.



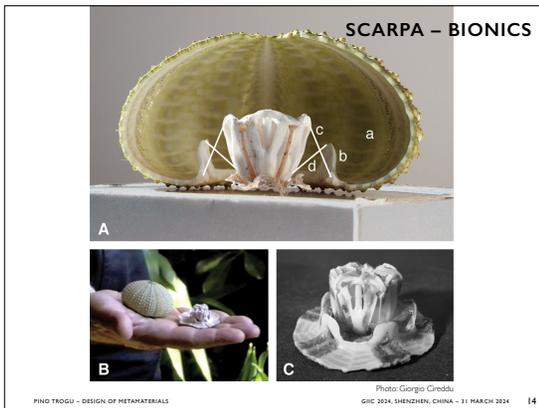
12

Scarpa ha sempre sottolineato la difficoltà nell'imparare dalla natura, la quale solitamente possiamo osservare solo dall'esterno, mentre i processi naturali si sviluppano dall'interno.



13

Aveva un profondo rispetto per la natura e per la vita ...



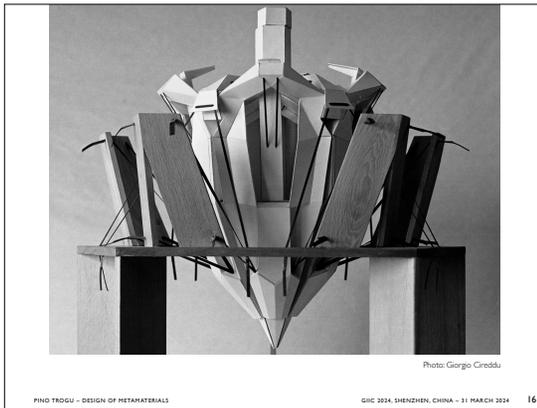
14

... notando ad esempio che non un solo riccio di mare era stato sacrificato per lo studio del modello bionico della bocca del riccio marino, la lanterna di Aristotele.



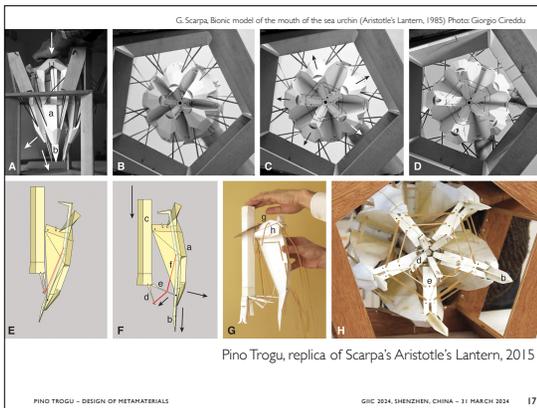
15

Il modello è fatto di cartoncino ed elastici, ed è un bellissimo esempio di macchina che "non fa nulla" e tuttavia dimostra con eleganza l'intricato apparato dentario e di masticazione dell'animale.



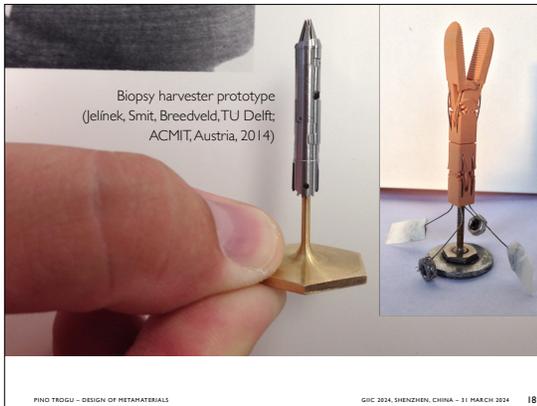
16

Nell'animale reale sarebbe visibile solo la parte inferiore, dove si trova la punta dei denti.



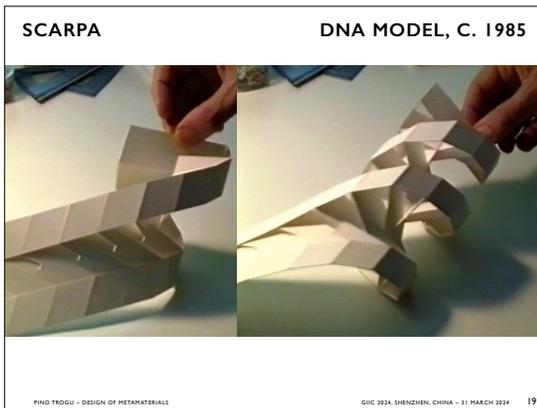
17

La fila in alto di questa immagine mostra il modello originale e la fila in basso mostra una replica funzionante che io ho costruito nel 2015.



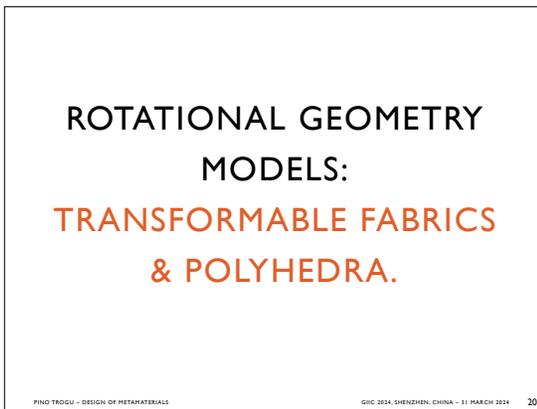
18

Il modello del riccio di mare ha ispirato nuovi strumenti, come questo prototipo di uno strumento per biopsie sviluppato presso la Delft University of Technology (TU Delft), che replica, inversamente, il movimento di apertura e di taglio dei denti.



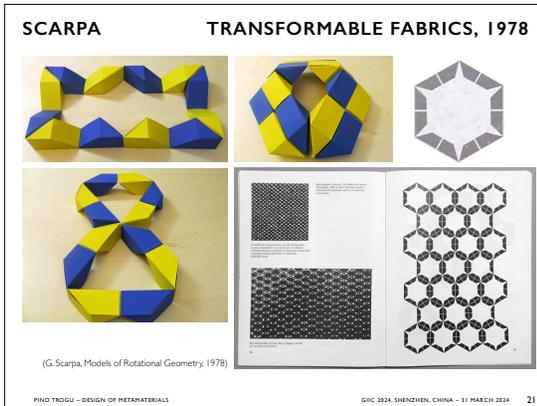
19

Scarpa era molto interessato anche alla struttura del DNA e, sebbene non possedesse nemmeno un microscopio, era in grado di creare modelli di carta sia belli che trasformabili.



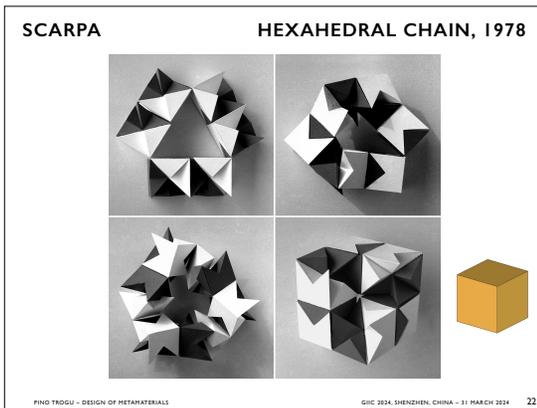
20

È piuttosto interessante che già negli anni '70 parlasse dei suoi modelli di geometria rotatoria in termini di "tessuti trasformabili".



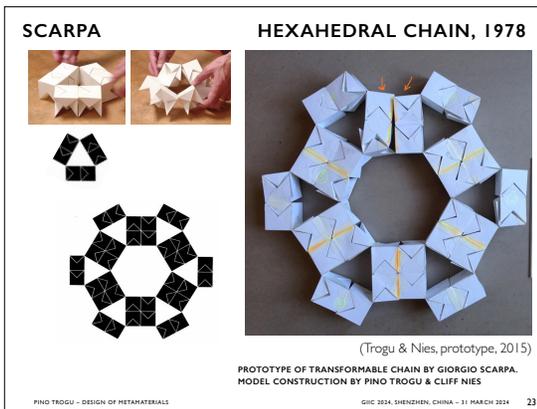
21

Nel suo libro sulla geometria rotatoria egli mette a confronto alcuni dei suoi prototipi, spesso semplicemente disegnati su carta, con strutture biologiche come la fibra muscolare a "doppio rombo", presentata accanto al suo tessuto trasformabile immaginario.



22

La geometria rotatoria e la sezione dei poliedri sono qui riproposte come un metodo per creare tessuti trasformabili ...



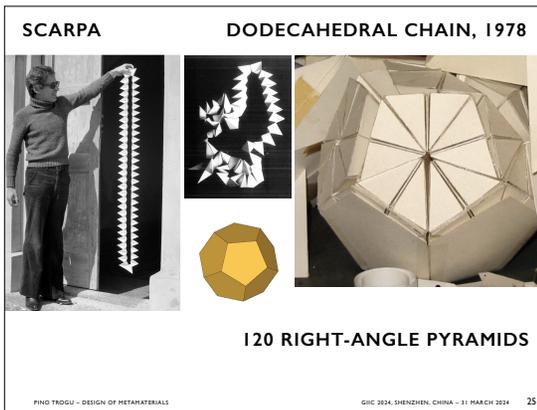
23

... che ancora una volta vengono semplicemente progettati ma non realizzati, perché un modello fisico in scala non era fattibile. Continuare la sua ricerca ha significato per me, in parte, tentare di realizzare quei progetti disponibili solo come disegni, come questo modello in scala di sei catene esaedriche, che ...



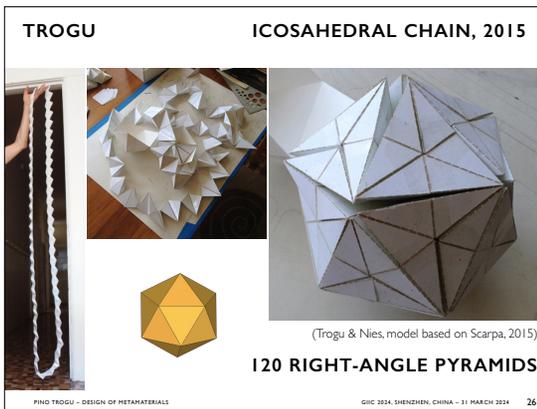
24

... quando vengono separate da una configurazione di catena ad anello in una catena aperta, rivelano una struttura elicoidale data dalla gravità e dalla rotazione vincolata dei moduli.



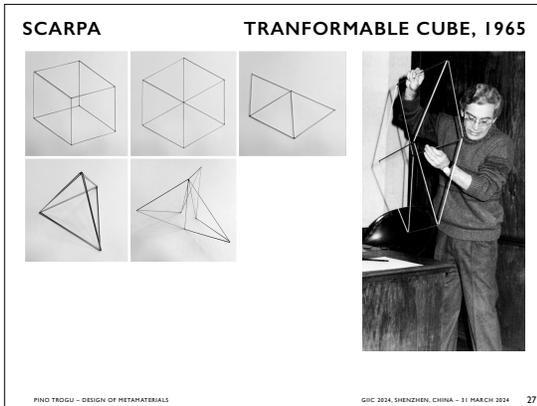
25

Ispirandosi all'osservazione sul "contenuto" di Paul Klee, Scarpa seziona i solidi platonici in coppie speculari di piramidi ad angolo retto incernierate tra loro per formare, come in questo dodecaedro, una catena chiusa di 120 moduli.



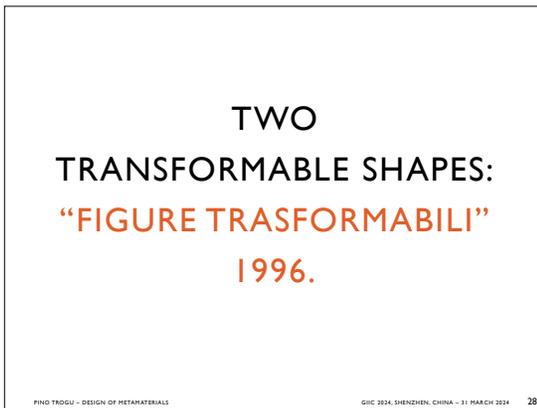
26

Ispirandomi al dodecaedro di Scarpa, e seguendo le istruzioni contenute nel suo libro, ho costruito una catena equivalente di piramidi ad angolo retto appartenenti all'icosaedro, il solido con 20 facce a triangolo regolare.



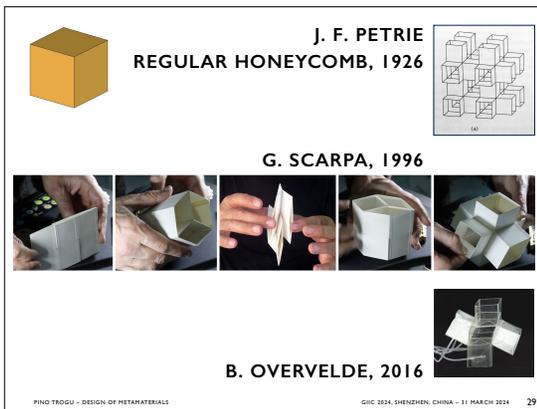
27

Il suo cubo trasformabile di tubi di alluminio si trasforma in un altro solido platonico e in varie versioni di cubi simili a disegni bidimensionali di cubi.



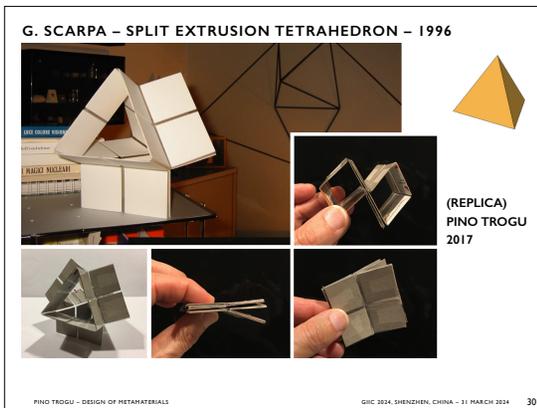
28

Nel 1996 Scarpa inventa due “figure trasformabili” che sono fondamentali per i metamateriali che mostreremo a breve, anche se in quella data mi era nota solo la prima, mentre la seconda l’ho scoperta solo nel 2017.



29

La prima, un cubo prismatico, fu in realtà inventata nel 1926 dal matematico Petrie, ma Scarpa probabilmente non era a conoscenza di questo precedente, così come Bas Overvelde non era a conoscenza del modello di Scarpa quando assieme ai suoi colleghi pubblicò nel 2016 il primo dei loro articoli sui “metamateriali prismatici”.



30

La seconda figura è un tetraedro prismatico con pareti prismatiche divise in due, ed è questa nuova bisezione che può rendere flessibili metamateriali precedentemente rigidi come i materiali n.1 e n.6 pubblicati da Overvelde e dai suoi colleghi nel 2017.

**METAMATERIALS:**  
**RIGID,**  
**NON-RIGIDLY FOLDABLE,**  
**& RIGIDLY FOLDABLE.**

PINO TROGU - DESIGN OF METAMATERIALS GIIC 2024, SHENZHEN, CHINA - 31 MARCH 2024 31

31 Forse siete a conoscenza di quell'articolo del gennaio 2017 che aveva un'appendice molto dettagliata ...

**OVERVELDE ET AL, 2017**

**MATERIAL #1**  
**TETRAHEDRA & OCTAHEDRA (RIGID)**

**MATERIAL #6**  
**TETRAHEDRA & TRUNCATED TETRAHEDRA (RIGID)**

PINO TROGU - DESIGN OF METAMATERIALS GIIC 2024, SHENZHEN, CHINA - 31 MARCH 2024 32

32 ... comprendente tutti i 28 materiali esaminati. I materiali n.1 e n.6 erano rigidi a causa della rigidità dei prismi triangolari nei tetraedri estrusi.

**OVERVELDE ET AL, 2017**

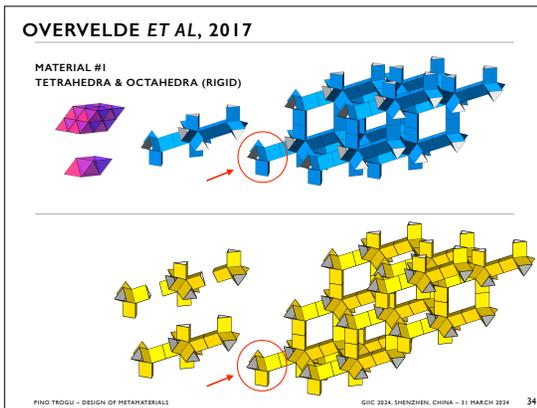
**MATERIAL #6**  
**TETRAHEDRA & TRUNCATED TETRAHEDRA (RIGID)**

**TROGU, 2023**  
**MATERIAL #6 - FLAT-FOLDABLE**

(Model fabrication: E.Montano, J.Mirnick,D.Munehica, J.Cuelar,PTrogu, 2023)

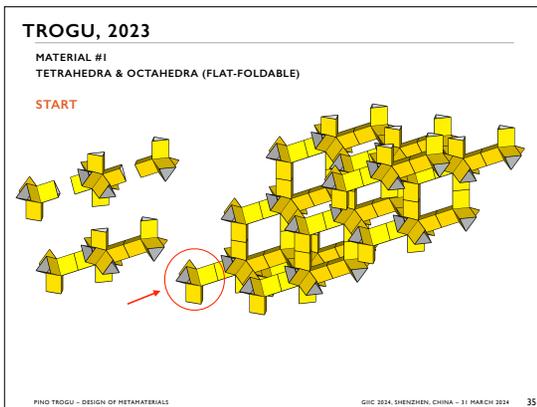
PINO TROGU - DESIGN OF METAMATERIALS GIIC 2024, SHENZHEN, CHINA - 31 MARCH 2024 33

33 Osservando il materiale n.6 nella sua forma rigida e nella sua forma piatta e pieghevole, si nota che questi sono ancora relativamente "aperti" a causa della presenza di tetraedri tronchi. Mostrerò più tardi la versione fisica di questo modello, ma ora mostrerò più in dettaglio il processo di bisezione per il materiale n.1.



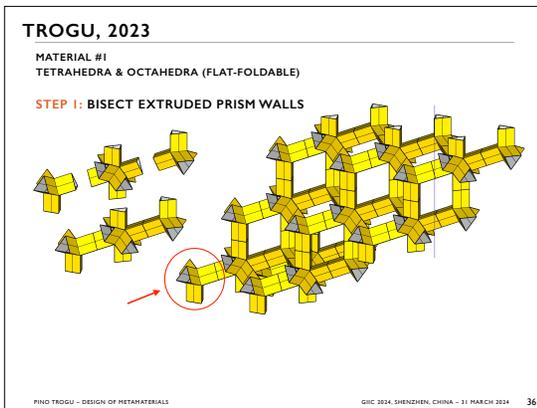
34

Senza bisezioni, questo materiale è anch'esso abbastanza “aperto” a causa della doppia lunghezza delle estrusioni e della presenza di ottaedri più grandi che si formano quando i tetraedri vengono assemblati.



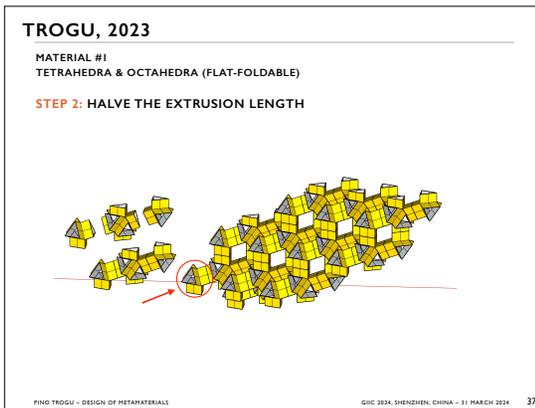
35

Iniziamo con il materiale originale e identifichiamo la cella estrusa di base.



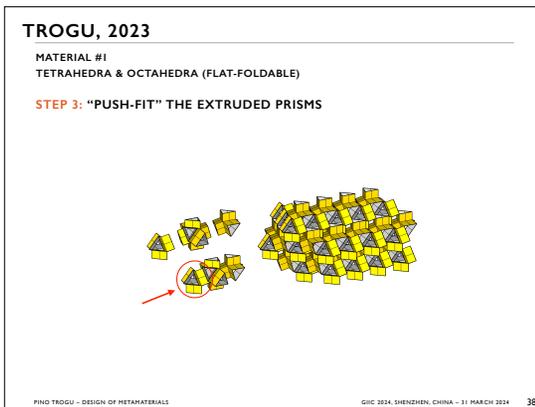
36

Applichiamo la bisezione alle pareti dei prismi estrusi, quindi adesso ogni prisma avrà sei cerniere invece di tre.



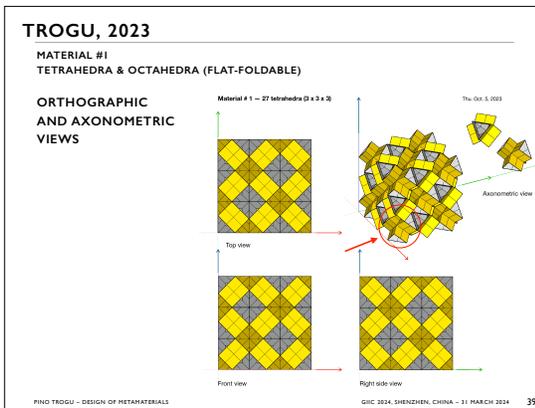
37

Dimezziamo la lunghezza dell'estrusione in modo che tutte le piastrine siano ora quadrate.



38

"Incastriamo" le coppie di estrusioni per aumentare la densità del materiale.



39

Rispetto alla figura precedente, il materiale qui si vede adagiato sui lati delle estrusioni anziché sulle facce normali all'estrusione, consentendo di costruire un patch cubico di 3 x 3 x 3 celle di base tetraedriche.



40

Questa versione fisica del materiale è composta da piastrine stampate in 3D da 30 x 30 mm collegate tra loro da cerniere in polipropilene da 0.1 millimetri.



41

Recentemente, Feng e Shi hanno condotto un'analisi cinematica sull'unità tetraedrica originale ed è stato stabilito che, sebbene la forma sia piatta e pieghevole, ciò è possibile a causa della deformazione delle cerniere.



42

Feng e Shi hanno quindi condotto un'analisi cinematica più estesa e hanno determinato che la figura è rigidamente pieghevole se vengono aggiunte cerniere sulle diagonali di alcune piastrine quadrate, ammettendo così solo pannelli rigidi e cerniere cilindriche.

**FENG, SHI, TROGU & DAI, 2024**

MATERIAL #1  
EXTRUDED BIASECTED TETRAHEDRON

MODIFIED SHAPE: RIGIDLY FOLDABLE WITH ADDITIONAL CREASES



(Model fabrication: H. Feng, W. Shi, P. Trogu, E. Montano, J. Minnick, G. Montalvo, T. Casanova, 2023)

PINO TROGU - DESIGN OF METAMATERIALS GIC 2024, SHENZHEN, CHINA - 31 MARCH 2024 43

43

La proprietà auxetica della forma modificata è dimostrata in questa sequenza di piegature. Un rapporto tecnico dettagliato su questo nuovo metamateriale è stato accettato e sarà presentato alla 6a Conferenza Internazionale sui Meccanismi e Robot Riconfigurabili (ReMAR 2024) che si svolgerà a Chicago nel luglio di quest'anno.

**VIDEOS (online/local)**



[Scarpa: Arcosole's Laminar](#)

[Scarpa: DNA Model](#)

[Scarpa: Hexahedral Chain](#)

[Trogu: Material #5](#)

[Trogu: Material #1](#)

[Feng, Shi, Trogu & Dai: Auxetic Metamaterial](#)

[Scarpa: DNA Model](#)

[Scarpa: DNA Model](#)

[Scarpa: Hexahedral Chain](#)

[Trogu: Material #5](#)

[Trogu: Material #1](#)

[Feng, Shi, Trogu & Dai: Auxetic Metamaterial](#)

PINO TROGU - DESIGN OF METAMATERIALS GIC 2024, SHENZHEN, CHINA - 31 MARCH 2024 44

44

Questa pagina contiene link a video che mostrano alcuni dei modelli che ora mostrerò direttamente.

**LINKS**



[res.trogu.com/scarpa](https://res.trogu.com/scarpa)

[Presentation Slides - PDF: 72 MB](#)

[trogu.com](https://trogu.com)

[lorenzobocca.com/giorgioscarpa](https://lorenzobocca.com/giorgioscarpa)

PINO TROGU - DESIGN OF METAMATERIALS GIC 2024, SHENZHEN, CHINA - 31 MARCH 2024 45

45

E questi sono alcuni siti web con maggiori informazioni, principalmente sul lavoro di Scarpa, oltre al link alle slides di questa presentazione.

**THANK YOU!**

PINO TROGU  
BIO-INSPIRED MODELS OF ROTATIONAL GEOMETRY  
AND DESIGN OF METAMATERIALS

7th GLOBAL INTELLIGENT INDUSTRY CONFERENCE  
SHENZHEN INTERNATIONAL CONVENTION AND EXHIBITION CENTER  
SUNDAY, MARCH 31, 2024 – 13:30  
ROOM CC101C, FLOOR 1, HALL 18

CONTACT: [TROGU@SFSU.EDU](mailto:TROGU@SFSU.EDU)

[go to first slide](#)

PINO TROGU – DESIGN OF METAMATERIALS GIIIC 2024, SHENZHEN, CHINA – 31 MARCH 2024 46

46

Molte grazie per la vostra attenzione. Ora mostrerò i modelli fisici e poi spero che ci sarà un po' di tempo per qualche domanda.