



Ministero delle Imprese e del Made in Italy
DIREZIONE GENERALE PER LA TUTELA DELLA PROPRIETÀ INDUSTRIALE
UFFICIO ITALIANO BREVETTI E MARCHE

UIBM

DOMANDA DI INVENZIONE NUMERO	102022000021345
Data Deposito	17/10/2022
Data Pubblicazione	17/04/2024

Classifiche IPC

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
B	29	C	44	34

Titolo

METAMATERIALE AUXETICO

METAMATERIALE AUXETICO

DESCRIZIONE

CAMPO DELLA TECNICA

La presente invenzione concerne un metamateriale auxetico, i.e. un materiale artificiale
5 dotato di particolare comportamento meccanico, in particolare di tipo auxetico.

Il metamateriale auxetico di cui trattasi trova vantaggioso impiego nella costruzione e
realizzazione di qualunque oggetto o dispositivo che richieda un comportamento di tipo
auxetico, i.e. a coefficiente di Poisson negativo.

Ad esempio, il metamateriale di cui trattasi trova vantaggioso impiego nella realizzazione
10 di protesi ossee o vertebrali.

Pertanto, il metamateriale di cui trattasi trova impiego nel settore tecnico di produzione e
commercializzazione di materiali speciali, in particolare per uso medico o ortopedico, e
più preferibilmente per la realizzazione di protesi, ad esempio ossee o vertebrali.

STATO DELLA TECNICA

15 Come è di per sé noto, i metamateriali auxetici sono materiali di origine artificiale che
possiedono un valore del coefficiente di Poisson negativo. Tali materiali presentano
proprietà meccaniche atipiche che dipendono dalla loro peculiare struttura e/o
architettura nonché dalle proprietà elastiche del materiale con le quali vengono realizzati.

Le proprietà dei metamateriali auxetici, oltre a presentare coefficiente di Poisson negativo,
20 presentano inoltre un'elevata rigidità a taglio e resistenza a rottura.

Sono noti da tempo materiali, anche naturali, di tipo auxetico. In uso, tali materiali auxetici
se sottoposti ad una sollecitazione di trazione aumentano il loro ingombro
(contrariamente i materiali a coefficiente di Poisson positivo tendono a diminuire la loro
sezione), determinando una dilatazione in direzione trasversale a quella di sollecitazione.

25 Allo stesso modo, se sottoposte ad una sollecitazione compressione diminuiscono il loro

ingombro, determinando una strizione lungo una direzione trasversale rispetto a quella di sollecitazione.

Questa capacità è dovuta alla peculiare architettura del materiale, ed in particolare alla specifica distribuzione topologica di opportune celle elementari che lo compongono, che
5 determina proprietà meccaniche come l'alto assorbimento di energia e la resistenza alla frattura.

I materiali auxetici trovano normalmente applicazione in svariati ambiti, ad esempio nella realizzazione di giubbotti antiproiettile, materiale da imballaggio, ginocchiere e protezioni per i gomiti, materiale antiurto, spugne e strofinacci.

10 Negli ultimi anni, lo studio dei materiali auxetici nonché l'avvento della produzione mediante stampa tridimensionale, ha portato alla produzione di materiali creati artificialmente e di per sé non presenti in natura (i.e. metamateriali) dotati di comportamento auxetico, ad esempio per il loro impiego nella produzione di protesi, in particolare protesi ossee o vertebrali.

15 Sono noti metamateriali bidimensionali, i.e. architetture piane (2D), formati da quadrati, triangoli, rombi, parallelogrammi o da figure a forma irregolare. Analogamente, sono noti metamateriali tridimensionali, i.e. dotati di strutture rotanti 3D, i quali possono essere progettati utilizzando l'elemento base di una geometria piana, realizzando così un metamateriale tridimensionale in grado di manifestare un comportamento auxetico.

20 Sono inoltre noti metamateriali auxetici realizzati mediante una struttura reticolare, e sono normalmente divisibili sulla base della loro movimentazione a seguito di una sollecitazione. Le strutture reticolari di metamateriali si dividono principalmente in strutture rotanti (o a elementi rotanti), strutture chirali, strutture rientranti e strutture pieghevoli.

25 Più in dettaglio, le strutture dei metamateriali auxetici ad elementi rotanti comprendono

unità rigide collegate tramite elementi elasticamente cedevoli (a guisa di cerniere), ordinate e tra loro collegate secondo una specifica distribuzione topologica.

A seguito dell'esercizio di una sollecitazione sul metamateriale, le unità rigide sono movimentate una rispetto all'altra, aumentando o diminuendo l'ingombro totale del metamateriale, come sopra anticipato.

Più in dettaglio, le unità rigide di tipo noto hanno forma, ad esempio, di cuboide e sono tra loro collegate in corrispondenza di spigoli (i.e. bordi) dei cuboidi medesimi.

Tale geometria, pur presentando caratteristiche meccaniche di tipo auxetico, si è rivelata nella pratica non scevro di inconvenienti.

10 Il principale inconveniente risiede nel fatto che i metamateriali auxetici a cuboidi risultano essere dotati di bassa porosità, i.e. sostanzialmente pieni con rapporto del volume delle parti vuote rispetto al volume totale del materiale inferiore al 70%.

Tale basso valore di porosità rende tali metamateriali inutilizzabili in molte applicazioni, quale ad esempio la realizzazione di protesi ossee o vertebrali.

15 Inoltre, ulteriore inconveniente dei metamateriali auxetici di tipo noto risiede nel fatto che il collegamento delle unità rigide in corrispondenza dei loro spigoli limita i gradi di libertà durante la loro movimentazione, in quanto gli angoli che essi possono definire sono limitati dall'ingombro delle unità a cuboidi contigue. Inoltre, tale collegamento delle unità in corrispondenza dei loro spigoli aumenta la rigidità del materiale e ne limita la
20 deformabilità elastica.

Ovviamente, tale limite si traduce in una scarsa utilizzabilità del metamateriale, che risulta rigido e dotato di elasticità troppo bassa per la maggior parte delle applicazioni.

Ulteriore inconveniente risiede nel fatto che il metamateriale auxetico di tipo noto è pesante e richiede l'impiego di molto materiale per la sua realizzazione, aumentando i costi
25 e la complessità costruttiva.

Ulteriore inconveniente risiede nel fatto che i metamateriali attualmente noti non sono utilizzabili per la produzione e realizzazione di protesi ossee o vertebrali.

SCOPI DELL'INVENZIONE

Scopo della presente invenzione è quello di fornire un metamateriale auxetico che
5 consenta di ovviare e porre rimedio, almeno in parte, agli inconvenienti della tecnica nota sopra citata.

Ulteriore scopo della presente invenzione è quello di fornire un metamateriale auxetico che sia dotato di elevata porosità, in particolare una porosità maggiore dell'80%.

Ulteriore scopo della presente invenzione è quello di fornire un metamateriale auxetico
10 che sia deformabile elasticamente.

Ulteriore scopo della presente invenzione è quello di fornire un metamateriale auxetico che sia leggero e resistente.

Ulteriore scopo della presente invenzione è quello di fornire un metamateriale auxetico che sia funzionalmente e strutturalmente del tutto sicuro ed affidabile.

15 Ulteriore scopo della presente invenzione è quello di fornire un metamateriale auxetico che sia utilizzabile per la realizzazione di protesi ossee o vertebrali.

Ulteriore scopo della presente invenzione è quello di fornire un metamateriale auxetico che sia realizzabile in modo semplice, rapido e con bassi costi.

Ulteriore scopo della presente invenzione è quello di fornire un metamateriale auxetico
20 che possa essere realizzato in qualsiasi materiale, ad esempio titanio o polimeri, con una elevata deformabilità elastica a prescindere dal materiale utilizzato.

SOMMARIO DELL'INVENZIONE

Tutti gli scopi, sia singolarmente che in una loro qualsiasi combinazione, ed altri che risulteranno dalla descrizione particolareggiata che segue sono raggiunti, secondo
25 l'invenzione, con un metamateriale auxetico avente le caratteristiche indicate nella

rivendicazione indipendente 1.

In particolare, i suddetti scopi sono raggiunti con un metamateriale auxetico 1 comprendente almeno una cella operativa 2 dotata di coefficiente di Poisson negativo; detta cella operativa 2 comprendendo una pluralità di corpi elementari 3 tra loro
5 congruenti e meccanicamente collegati,

in cui ciascuno di detti corpi elementari 3 ha forma sostanzialmente prismatica a base triangolare;

ed in cui detti corpi elementari 3 sono tra loro collegati in corrispondenza di rispettivi vertici 31, 32 mediante mezzi di collegamento 4 elasticamente cedevoli.

10 Vantaggiosamente, detta cella operativa 2 comprende otto detti corpi elementari 3 tra loro meccanicamente collegati;

ciascun detto corpo elementare (3) è ruotato e specchiato rispetto a ciascun detto corpo elementare (3) ad esso contiguo.

Vantaggiosamente, ciascuno di detti corpi elementari 3 è un corpo reticolare
15 comprendente:

- almeno una prima base di forma triangolare definita da tre primi elementi allungati
5 tra loro meccanicamente collegati a triangolo in corrispondenza di tre primi vertici 31;

- almeno una seconda base di forma triangolare, disposta affacciata a detta prima base, definita da tre secondi elementi allungati 6 tra loro meccanicamente collegati a
20 triangolo in corrispondenza di tre secondi vertici 32;

- elementi allungati laterali 7 posti a collegamento di detti primi vertici 31 con detti secondi vertici 32.

Vantaggiosamente, ciascuno di detti corpi elementari 3 comprende tre primi vertici e tre secondi vertici; e dal fatto che ciascuno di detti corpi elementari 3 comprende elementi
25 allungati 5, 6, 7 posti a collegamento tra detti primi vertici 31 e/o detti secondi vertici 32.

Vantaggiosamente, detti mezzi di collegamento 4 elasticamente cedevoli comprendono travi di congiunzione 8, posti a collegamento di primi vertici 31 e/o secondi vertici 32 di un detto corpo elementare 3 con primi vertici 31 e/o secondi vertici 32 di almeno un detto corpo elementare 3 contiguo.

- 5 Vantaggiosamente, ciascun corpo elementare 3 comprende elementi allungati di rinforzo 71 disposti trasversalmente a collegamento di detti primi vertici 31 con corrispondenti detti secondi vertici 32, interposti inclinati tra detti elementi allungati laterali 7.

Vantaggiosamente, detti corpi elementari 3 sono configurati per ruotare su detti mezzi di collegamento 4 elasticamente cedevoli a seguito dell'esercizio di una forza esterna.

- 10 Vantaggiosamente, detta cella operativa 2 ha comportamento auxetico con modulo di elasticità apparente compreso tra 0,1 GPa e 1 GPa.

Inoltre, i suddetti scopi sono almeno parzialmente raggiunti da un corpo elementare 3 per la realizzazione di un metamateriale auxetico, destinato ad essere meccanicamente collegato ad altri congruenti corpi elementari, dotato di forma sostanzialmente prismatica

- 15 a base triangolare.

Inoltre, i suddetti scopi sono almeno parzialmente raggiunti da una cella operativa 2 di un metamateriale auxetico, dotata di coefficiente di Poisson negativo e caratterizzata dal fatto di comprendere una pluralità di corpi elementari 3 tra loro congruenti e meccanicamente collegati,

- 20 caratterizzato dal fatto che ciascuno di detti corpi elementari 3 ha forma sostanzialmente prismatica a base triangolare;

e dal fatto che detti corpi elementari 3 sono tra loro collegati in corrispondenza di rispettivi vertici 31, 32 mediante mezzi di collegamento 4 elasticamente cedevoli.

BREVE DESCRIZIONE DELLE FIGURE

- 25 La presente invenzione viene qui di seguito ulteriormente chiarita in alcune sue preferite

forme di pratica realizzazione, riportate a scopo puramente esemplificativo e non limitativo, con riferimento alle allegate tavole di disegni, in cui:

- La figura 1 mostra una vista prospettica di un dettaglio del metamateriale auxetico secondo la presente invenzione, concernente un corpo elementare del metamateriale auxetico secondo la presente invenzione;
5
- La figura 2 mostra una ulteriore vista prospettica del corpo elementare del metamateriale auxetico illustrato in figura 1;
- La figura 3 mostra una vista prospettica del corpo elementare del metamateriale auxetico illustrato in figura 2;
- 10 - La figura 4 mostra una ulteriore vista prospettica del corpo elementare del metamateriale auxetico illustrato in figura 2;
- La figura 5 mostra una vista prospettica di un ulteriore dettaglio del metamateriale auxetico secondo la presente invenzione, concernente una cella operativa del metamateriale auxetico secondo l'invenzione, comprendente una pluralità di corpi
15 elementari tra loro collegati;
- La figura 6 mostra una vista frontale della cella operativa illustrata in figura 5;
- La figura 7 mostra una vista dall'alto della cella operativa di figura 5;
- La figura 8 mostra una vista laterale della cella operativa di figura 5;
- La figura 9 mostra una vista prospettica di un esempio di metamateriale auxetico
20 secondo l'invenzione, realizzato collegando una pluralità di celle operative illustrate nelle figure 5-8;
- La figura 10 mostra una vista frontale del metamateriale auxetico secondo l'invenzione illustrato in figura 9;
- La figura 11 mostra una vista dall'alto del metamateriale auxetico secondo
25 l'invenzione illustrato in figura 9;

- La figura 12 mostra una vista laterale del metamateriale auxetico secondo l'invenzione illustrato in figura 9.

DESCRIZIONE DETTAGLIATA DELL'INVENZIONE

Con riferimento alle allegate figure, è stato indicato nel suo complesso con 1 un
5 metamateriale auxetico, oggetto della presente invenzione, in particolare destinato ad essere utilizzato in una pluralità di applicazioni, quale ad esempio la realizzazione di protesi ossee o simili.

Con il termine "metamateriale" si dovrà intendere, ai sensi della presente privativa, un materiale artificiale la cui struttura è progettata per conferire proprietà meccaniche speciali
10 normalmente non riscontrate nei materiali naturali e, in particolare, non presenti nei singoli materiali, quando presi da soli, che lo costituiscono.

Il metamateriale di cui trattasi ha comportamento auxetico, i.e. è dotato di coefficiente di Poisson negativo. In particolare, il coefficiente di Poisson è una grandezza adimensionale e rappresenta il grado con cui il campione di materiale si restringe o si dilata
15 trasversalmente in presenza di una sollecitazione monodirezionale longitudinale. In particolare, i materiali auxetici se sottoposti ad una sollecitazione monodirezionale longitudinale si comportano al contrario rispetto agli altri materiali: se la sollecitazione è di trazione, il materiale auxetico si dilata in direzione trasversale rispetto alla sollecitazione, mentre se la sollecitazione è di compressione, il materiale auxetico si restringe in direzione
20 trasversale rispetto alla sollecitazione.

Tale comportamento meccanico del metamateriale auxetico di cui trattasi è dovuto alla sua geometria costruttiva e non dal materiale di cui è composto (se non in minima parte). Vantaggiosamente, il metamateriale auxetico di cui trattasi trova vantaggioso impiego nel settore tecnico di produzione e commercializzazione di protesi, in particolare protesi
25 ossee o vertebrali. Infatti, come apparirà chiaro dalla descrizione che segue, il

metamateriale secondo l'invenzione è idoneo a raggiungere caratteristiche meccaniche simili a quelle delle tessuto osseo umano.

Ovviamente, il metamateriale auxetico di cui trattasi potrà essere utilizzato per la produzione di qualunque tipologia di prodotto che necessiti il suddetto comportamento
5 auxetico, senza per questo uscire dall'ambito di protezione della presente privativa.

Preferibilmente, il metamateriale auxetico secondo l'invenzione è realizzato mediante manifattura additiva, in particolare mediante stampa tridimensionale e più preferibilmente mediante stampa tridimensionale di tipo SLM (Selective Laser Melting).

Il metamateriale auxetico di cui trattasi può essere vantaggiosamente realizzato in
10 materiale metallico, quale ad esempio titanio oppure in materiale plastico, ad esempio Onyx o simili oppure ancora in materiale composito. Allo scopo di realizzare protesi ossee o vertebrali, il metamateriale auxetico è realizzato in materiale biocompatibile, ad esempio titanio o una sua lega, ad esempio una lega di titanio con alluminio-vanadio, in particolare Ti6Al4V ELI.

15 Il metamateriale auxetico 1 comprendente almeno una cella operativa 2 dotata di coefficiente di Poisson negativo.

Con "cella operativa" si deve intendere ai sensi della presente privativa una struttura di base (preferibilmente reticolare, come descritto in dettaglio nel seguito) suscettibile di essere riprodotta uguale a sé stessa nelle tre dimensioni e dotata di comportamento
20 auxetico, i.e. a coefficiente di Poisson negativo.

La cella operativa 2 comprende una pluralità di corpi elementari 3 tra loro congruenti e meccanicamente collegati, in cui ciascuno di detti corpi elementari 3 ha forma sostanzialmente prismatica a base triangolare.

Con il termine "corpo elementare" si deve intendere ai sensi della presente privativa un
25 corpo, preferibilmente rigido, destinato ad essere meccanicamente collegato ad altri corpi

elementari per formare una struttura tridimensionale. Opportunamente, ai sensi della presente privativa, una cella operativa 2 comprende otto corpi elementari 3 tra loro meccanicamente collegati.

Opportunamente, i corpi elementari 3 sono tra loro collegati in corrispondenza di
5 rispettivi vertici 31, 32 mediante mezzi di collegamento 4 elasticamente cedevoli.

In questo modo, il metamateriale auxetico oggetto della presente invenzione consente di ottenere grande flessibilità, elevato comportamento auxetico e, al contempo, una geometria di facile realizzazione preferibilmente mediante stampaggio tridimensionale.

Vantaggiosamente, detta cella operativa 2 comprende otto detti corpi elementari 3 tra loro
10 meccanicamente collegati.

In accordo con la forma realizzativa preferenziale della presente invenzione illustrata nelle allegate figure, la cella operativa 2 comprende otto corpi elementari 3 collegati definendo due piani sovrapposti, in cui un primo piano definito da quattro corpi elementari 3 ed un secondo piano disposto affiancato al primo definito da ulteriori quattro corpi elementari
15 3.

Preferibilmente, ciascun detto corpo elementare 3 è ruotato e specchiato rispetto a ciascun detto corpo elementare 3 ad esso contiguo.

Vantaggiosamente, con particolare riferimento alle allegate figure 5-12, ai sensi della presente descrizione si definisce un sistema di riferimento del metamateriale auxetico
20 oggetto della presente invenzione, in cui un asse X è passante per uno spigolo (i.e. bordo) di una base triangolare del corpo elementare 3 di forma prismatica, un asse Y è ortogonale all'asse X e ortogonale al piano su cui giace la base triangolare ed un asse Z è ortogonale sia all'asse X che all'asse Y.

Allo stesso modo, con particolare riferimento alle allegate figure 1-4, si definisce un
25 sistema di riferimento del corpo elementare, in cui un asse Xc è passante per uno spigolo

(i.e. bordo) di una base triangolare del corpo elementare 3 di forma prismatica, un asse Y_c è ortogonale all'asse X_c nonché parallelo ai corpi laterali 7 e ortogonale al piano su cui giace la base triangolare ed un asse Z_c è ortogonale sia all'asse X_c che all'asse Y_c .

Preferibilmente, con riferimento alle allegate figure 6-8 che mostrano una cella operativa
5 2 del metamateriale auxetico 1 rispettivamente in piante ed in due viste laterali, ciascun corpo elementare 3 è simmetrico (e specchiato) rispetto a ciascun corpo elementare 3 contiguo.

Ad esempio, con riferimento alla allegata figura 6, ciascuno dei corpi elementari 3 raffigurati sono simmetrici ai corpi elementari 3 contigui rispetto ad assi di simmetria X'
10 e Y' paralleli rispettivamente agli assi X e Y .

Analogamente, con riferimento alla allegata figura 7, ciascun corpo elementare 3 è simmetrico rispetto al corpo elementare 3 contiguo, rispetto ad un asse di simmetria Z' parallelo all'asse Z e/o rispetto ad un asse di simmetria X' parallelo all'asse X .

Opportunamente, gli assi di simmetria sono passanti attraverso i mezzi di collegamento
15 4, in particolare configurati per collegare meccanicamente in maniera elasticamente cedevole i vertici 31, 32 di ciascun corpo elementare 3 con i corpi elementari 3 contigui.

Preferibilmente, allo scopo di aumentare la porosità del metamateriale auxetico secondo la presente invenzione, ciascuno di detti corpi elementari 3 è un corpo reticolare.

Con il termine "corpo reticolare" si deve intendere un corpo o struttura realizzato
20 mediante l'interconnessione di elementi allungati, preferibilmente sostanzialmente rigidi, in uno schema o pattern geometrico e topologico predefinito.

Preferibilmente, ciascun corpo elementare 3, rispetto ad un sistema cartesiano di assi X_c , Y_c , Z_c come sopra definito, in cui il corpo elementare 3 giace su tale sistema cartesiano con almeno un primo elemento allungato 5 che giace sull'asse X , un elemento allungato
25 laterale che giace sull'asse Y (come la forma realizzativa illustrata nella figura 1) è ruotato

attorno ad almeno un asse di rotazione X'' , Y'' , Z'' parallelo ai suddetti assi X_c , Y_c , Z_c e passanti per un baricentro di detto corpo elementare 3 di una rispettiva rotazione R_x , R_y , R_z (illustrate nella allegata figura 2).

In particolare, ciascuna rotazione R_x , R_y , R_z attorno al rispettivo asse X'' , Y'' , Z'' è
5 compresa tra 0° e 270° .

Preferibilmente, la rotazione R_x , R_y , R_z di ciascun corpo elementare 3 è tale per cui ciascun corpo elementare 3 ad esso contiguo risulta specchiato e/o simmetrico rispetto ad un asse di simmetria X' , Y' , Z' .

Vantaggiosamente, come descritto in dettaglio nel seguito, ciascuno di detti corpi
10 elementari 3 comprende tre primi vertici 31 e tre secondi vertici 32. Preferibilmente, ciascuno di detti corpi elementari 3 comprende elementi allungati 5, 6, 7 posti a collegamento tra detti primi vertici 31 e/o detti secondi vertici 32.

Il metamateriale auxetico così ottenuto, i.e. realizzato mediante l'interconnessione di elementi allungati 5, 6, 7, è dotato di porosità superiore all'80% e preferibilmente superiore
15 al 90%, in cui con "porosità" si intende il rapporto tra il volume vuoto (i.e. il volume interno che rimane definito tra gli elementi allungati) ed il volume globale del metamateriale.

Tali valori di porosità consentono quindi di ottenere un metamateriale dotato di basso peso specifico, risultando di fatto un metamateriale leggero e quindi idoneo a qualunque
20 applicazione.

Preferibilmente, in accordo con la forma realizzativa preferenziale ma non limitativa illustrata nelle allegate figure, ciascun corpo elementare 3 comprende almeno una prima base di forma triangolare definita da tre primi elementi allungati 5 tra loro meccanicamente collegati a triangolo in corrispondenza di tre primi vertici 31.

25 Preferibilmente, ciascun corpo elementare 3 comprende inoltre almeno una seconda base

di forma triangolare, disposta affacciata a detta prima base, definita da tre secondi elementi allungati 6 tra loro meccanicamente collegati a triangolo in corrispondenza di tre secondi vertici 32.

Il corpo elementare 3 del metamateriale auxetico secondo la presente invenzione ha forma a prisma a base triangolare allo scopo di aumentare la rigidità del corpo elementare medesimo e, al contempo, diminuire la complessità costruttiva del metamateriale di cui

Vantaggiosamente, i primi e i secondi elementi allungati 5, 6 hanno forma prismatica, preferibilmente cilindrica. Ovviamente, gli elementi allungati 5, 6 potranno avere qualunque forma allungata di per sé nota al tecnico del settore senza per questo uscire dall'ambito di protezione della presente privativa.

Opportunamente, ciascun corpo elementare 3 comprende elementi allungati laterali 7 posti a collegamento di detti primi vertici 31 con detti secondi vertici 32.

Preferibilmente, gli elementi allungati laterali 7 si sviluppano trasversalmente rispetto ai primi elementi allungati 5 e, preferibilmente, trasversalmente anche rispetto ai secondi elementi allungati 6.

Analogamente, gli elementi allungati laterali 7 hanno forma prismatica, preferibilmente cilindrica. Ovviamente, gli elementi allungati laterali 7 potranno avere qualunque forma allungata di per sé nota al tecnico del settore senza per questo uscire dall'ambito di protezione della presente privativa.

Preferibilmente, ciascuno dei primi tre elementi allungati 5 è dotato di estensione prevalente uguale agli altri primi elementi allungati 5. In altre parole, preferibilmente i primi tre elementi allungati 5 definiscono una base a triangolo equilatero. In altre parole, ciascun primo elemento allungato 5 di ciascun corpo elementare 3 definisce, con un primo elemento allungato contiguo (ad esso collegato mediante un corrispondente primo vertice

31) un angolo di circa 60° .

Analogamente, preferibilmente, ciascuno dei secondi tre elementi allungati 6 è dotato di estensione prevalente uguale agli altri secondi elementi allungati 6. In altre parole, preferibilmente i secondi tre elementi allungati 6 definiscono una base a triangolo
5 equilatero. In altre parole, ciascun secondo elemento allungato 6 di ciascun corpo elementare 3 definisce, con un secondo elemento allungato contiguo (ad esso collegato mediante un corrispondente secondo vertice 32) un angolo di circa 60° .

Vantaggiosamente, detti mezzi di collegamento 4 elasticamente cedevoli comprendono travi di congiunzione 8, posti a collegamento di primi vertici 31 e/o secondi vertici 32 di
10 un detto corpo elementare 3 con primi vertici 31 e/o secondi vertici 32 di almeno un detto corpo elementare 3 contiguo.

Ovviamente, i mezzi di collegamento 4 potranno essere di qualunque tipologia, anche differente rispetto alle particolari travi di congiunzione 8, senza per questo uscire dall'ambito di protezione della presente privativa. Ad esempio, i mezzi di collegamento 4
15 potranno prevedere un collegamento puntuale tra vertici dei corpi elementari 3 oppure potranno comprendere due o più travi di congiunzione 8 tra loro parallele.

Le travi di giunzione 8 dei mezzi di collegamento 4 sono configurate per deformarsi elasticamente e per consentire una rotazione dei corpi elementari 3 collegati.

Operativamente, a seguito dell'esercizio di una sollecitazione sulla cella operativa 2, i corpi
20 elementari 3 ruotano mediante la deformazione elastica dei mezzi di collegamento 4. Ad esempio, con riferimento alla allegata figura 5, a seguito di una compressione assiale (ad esempio verticale) della cella operativa 2, i corpi elementari 3 ruotano attorno alle travi di giunzione 8 (nel caso di figura 5 in senso antiorario) diminuendo l'ingombro trasversale (nel caso esemplificativo orizzontale) della cella operativa 2. Diversamente, a seguito di
25 uno stiramento (ad esempio verticale) i corpi elementari 3 ruotano attorno alle travi di

giunzione 8 (nel caso di figura 5 in senso orario) aumentando l'ingombro trasversale (nel caso esemplificativo orizzontale) della cella operativa 2.

La movimentazione (in particolare la rotazione) dei corpi elementari 3 mediante la deformazione dei mezzi di collegamento 4 è dovuta alla geometria, ed in particolare alla
5 forma dei singoli corpi elementari 3, nonché al collegamento dei corpi elementari 3 in corrispondenza dei loro vertici 31, 32.

In altre parole, esercitando una sollecitazione su dette celle operative 2, ad esempio a compressione, mediante un'azione parallela all'asse Y, si provoca una rotazione dei corpi elementari 3, con una conseguente flessione elastica delle travi di giunzione 8 tra i corpi
10 elementari contigui. Conseguentemente, l'angolo definito tra due corpi elementari 3 contigui, ed in particolare tra due elementi allungati 5, 6 di due corpi elementari 3 contigui, diminuisce, manifestando così comportamento auxetico, quindi, un coefficiente di Poisson negativo.

La composizione spaziale e tridimensionale dei corpi elementari 3 consente di costruire
15 strutture spugnose (o porose) di qualunque dimensione, in particolare formate da celle operative 2 chirali e auxetiche come illustrato nelle allegate figure.

Vantaggiosamente, il metamateriale auxetico consente di realizzare prodotti per la costruzione di protesi ossee, su misura in base alla tipologia di ossa considerate.

Vantaggiosamente, il metamateriale auxetico secondo l'invenzione, in uso, è configurato
20 per generare micromovimenti che simulano il movimento delle vertebre.

Il metamateriale così realizzato consente di ottenere una rigidità molto simile a quella delle ossa trabecolari umane, grazie al comportamento auxetico ed alla sua geometria chirale che compone i corpi elementari 3.

Con il termine "chirale" si dovrà intendere ai sensi della presente privativa una struttura
25 di elementi rigidi collegati tra loro mediante collegamenti flessibili. In altre parole, con il

termine “chirale” si dovrà intendere ai sensi della presente privativa una struttura (reticolare o cellulare o trabecolare) realizzata con unità rotanti collegate tra loro mediante collegamenti.

In particolare, detta cella operativa 2 ha comportamento auxetico con modulo di elasticità
5 apparente compreso tra 0,1 GPa e 1 GPa.

Vantaggiosamente, ciascun corpo elementare 3 comprende elementi allungati di rinforzo 71 disposti trasversalmente a collegamento di detti primi vertici 31 con corrispondenti detti secondi vertici 32, interposti inclinati tra detti elementi allungati laterali 7.

Opportunamente, gli elementi allungati di rinforzo 71 sono configurati per dotare ciascun
10 corpo elementare 3 di maggiore rigidità e stabilità meccanica, in particolare durante la loro movimentazione.

Secondo una forma realizzativa non illustrata nelle allegate figure, i mezzi di collegamento 4 possono prevedere solamente un collegamento sostanzialmente puntuale tra vertici 31, 32 di corpi elementari 3 tra loro contigui. In altre parole, le travi di congiunzione 8 dei
15 mezzi di collegamento 4 possono avere lunghezza sostanzialmente nulla.

In questa situazione, gli sforzi torsionali della rotazione dei corpi elementari 3 sono maggiormente scaricati sugli elementi allungati 5, 6, 7 dei corpi elementari 3 medesimi. Pertanto, in questa forma realizzativa è preferibile prevedere i suddetti elementi allungati di rinforzo 71 per conferire maggiore rigidità ai corpi elementari 3.

20 Vantaggiosamente, il metamateriale auxetico secondo l'invenzione consente di diminuire la degenerazione ossea quando utilizzato come protesi ossea, in quanto emula il comportamento meccanico delle ossa attigue alla protesi medesima.

Vantaggiosamente, detti corpi elementari 3 sono configurati per ruotare su detti mezzi di collegamento 4 elasticamente cedevoli a seguito dell'esercizio di una forza esterna.

25 Forma inoltre oggetto della presente invenzione anche un corpo elementare 3 per la

realizzazione di un metamateriale auxetico, destinato ad essere meccanicamente collegato ad altri congruenti corpi elementari 3, in cui detto corpo elementare 3 dotato di forma sostanzialmente prismatica a base triangolare.

Tutte le caratteristiche sopra descritte con particolare riferimento al metamateriale auxetico 1 devono intendersi descritte, prese da sole o in una loro qualsiasi combinazione, anche con riferimento al corpo elementare 3, anch'esso oggetto della presente invenzione.

Forma inoltre oggetto della presente invenzione anche una cella operativa 2 di un metamateriale auxetico, dotata di coefficiente di Poisson negativo comprendente una pluralità di corpi elementari 3 tra loro congruenti e meccanicamente collegati.

Ciascuno di detti corpi elementari 3 della cella operativa 2 secondo l'invenzione ha forma sostanzialmente prismatica a base triangolare.

Preferibilmente, ciascuno dei corpi elementari 3 comprende tre elementi allungati laterali 7, posti a collegamento dei primi vertici 31 con i secondi vertici 32. Più in dettaglio, ciascun elemento allungato laterale 7 si estende trasversalmente rispetto ai primi ed ai secondi elementi allungati 5, 6 ed in particolare parallelamente all'asse Y.

In questo modo, tra due elementi allungati laterali 7 di ciascun corpo elementare 3 rimane definita un'area sostanzialmente rettangolare.

Preferibilmente, come sopra anticipato, ciascun corpo elementare 3 comprende i suddetti elementi allungati di rinforzo 71, posti a collegamento di un primo vertice 31 con un secondo vertice 32 traslato rispetto all'asse X, cioè, in altre parole, disassato rispetto all'asse Y.

Più preferibilmente, gli elementi allungati di rinforzo 71 sono disposti diagonalmente tra due elementi allungati laterali 7 contigui.

Detti corpi elementari 3 di detta cella operativa 2 sono tra loro collegati in corrispondenza di rispettivi vertici 31, 32 mediante mezzi di collegamento 4 elasticamente cedevoli.

Tutte le caratteristiche sopra descritte con particolare riferimento al metamateriale auxetico 1 devono intendersi descritte, prese da sole o in una loro qualsiasi combinazione, anche con riferimento alla cella operativa 2, anch'essa oggetto della presente invenzione. Vantaggiosamente, il metamateriale auxetico della presente invenzione può essere
5 realizzato in materiali dotati di per sé di modulo elastico molto elevato, ad esempio il titanio o sue leghe, il quale è dotato di un modulo di elasticità di 110GPa ed è quindi molto rigido. La geometria sopra descritta del metamateriale auxetico secondo l'invenzione consente di diminuire il modulo elastico globale del metamateriale fino ad un valore simile a quello delle ossa umane (i.e. circa 0,1 GPa e 1 GPa) o in generale idoneo a qualunque
10 applicazione.

Da quanto descritto risulta chiaramente che il metamateriale auxetico, secondo l'invenzione, si presenta particolarmente vantaggioso in quanto:

- è in grado di ovviare, almeno in parte, agli inconvenienti della tecnica nota sopra citata;
- 15 - consente la realizzazione di protesi ossee o vertebrali ottimali, in quanto emula il comportamento meccanico delle ossa naturali;
- è strutturalmente resistente e affidabile;
- è funzionalmente del tutto affidabile;
- è realizzabile a livello industriale con tecniche di fabbricazione note, quali in
20 particolare le stampe tridimensionali;
- assicura una corretta ricrescita ossea al suo interno, stimolando la crescita cellulare ossea all'interno della sua struttura porosa;
- aumenta la vita a fatica dell'impianto protesico;
- riduce la rigidità dell'intero sistema protesi entro il quale viene impiantata;
- 25 - evita contatti con i tessuti adiacenti sani grazie al suo comportamento auxetico;

- presenta una configurazione alternativa e/o migliorativa, sia in termini costruttivi sia in termini funzionali, rispetto alle soluzioni note tradizionali.

È chiaro dalla descrizione qui sopra riportata come il metamateriale auxetico oggetto della presente invenzione permetta di raggiungere gli scopi prefissati.

- 5 La presente invenzione è stata illustrata e descritta in una sua preferita forma di realizzazione, ma si intende che varianti esecutive potranno ad essa in pratica apportarsi, senza peraltro uscire dall'ambito di protezione del presente brevetto per invenzione industriale.

RIVENDICAZIONI

1. Metmateriale auxetico (1) comprendente almeno una cella operativa (2) dotata di coefficiente di Poisson negativo; detta cella operativa (2) comprendendo una pluralità di corpi elementari (3) tra loro congruenti e meccanicamente collegati,
5 caratterizzato dal fatto che ciascuno di detti corpi elementari (3) ha forma sostanzialmente prismatica a base triangolare;
e dal fatto che detti corpi elementari (3) sono tra loro collegati in corrispondenza di rispettivi vertici (31, 32) mediante mezzi di collegamento (4) elasticamente cedevoli.
2. Metmateriale auxetico secondo la rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che
10 detta cella operativa (2) comprende otto detti corpi elementari (3) tra loro meccanicamente collegati;
ciascun detto corpo elementare (3) è ruotato e specchiato rispetto a ciascun detto corpo elementare (3) ad esso contiguo.
3. Metmateriale auxetico secondo la rivendicazione 1 o 2, caratterizzato dal fatto
15 che ciascuno di detti corpi elementari (3) è un corpo reticolare comprendente:
- almeno una prima base di forma triangolare definita da tre primi elementi allungati (5) tra loro meccanicamente collegati a triangolo in corrispondenza di tre primi vertici (31);
 - almeno una seconda base di forma triangolare, disposta affacciata a detta prima
20 base, definita da tre secondi elementi allungati (6) tra loro meccanicamente collegati a triangolo in corrispondenza di tre secondi vertici (32);
 - elementi allungati laterali (7) posti a collegamento di detti primi vertici (31) con detti secondi vertici (32).
4. Metmateriale auxetico secondo una o più delle rivendicazioni precedenti,
25 caratterizzato dal fatto che ciascuno di detti corpi elementari (3) comprende tre primi

vertici e tre secondi vertici; e dal fatto che ciascuno di detti corpi elementari (3) comprende elementi allungati (5, 6, 7) posti a collegamento tra detti primi vertici (31) e/o detti secondi vertici (32).

5. Metamateriale auxetico secondo una o più delle rivendicazioni precedenti,
5 caratterizzato dal fatto che detti mezzi di collegamento (4) elasticamente cedevoli comprendono travi di congiunzione (8), posti a collegamento di primi vertici (31) e/o secondi vertici (32) di un detto corpo elementare (3) con primi vertici (31) e/o secondi vertici (32) di almeno un detto corpo elementare (3) contiguo.

6. Metamateriale auxetico secondo una o più delle rivendicazioni precedenti,
10 caratterizzato dal fatto di comprendere elementi allungati di rinforzo (71) disposti trasversalmente a collegamento di detti primi vertici (31) con corrispondenti detti secondi vertici (32), interposti inclinati tra detti elementi allungati laterali (7).

7. Metamateriale auxetico secondo una o più delle rivendicazioni precedenti,
15 caratterizzato dal fatto che detti corpi elementari (3) sono configurati per ruotare su detti mezzi di collegamento (4) elasticamente cedevoli a seguito dell'esercizio di una forza esterna.

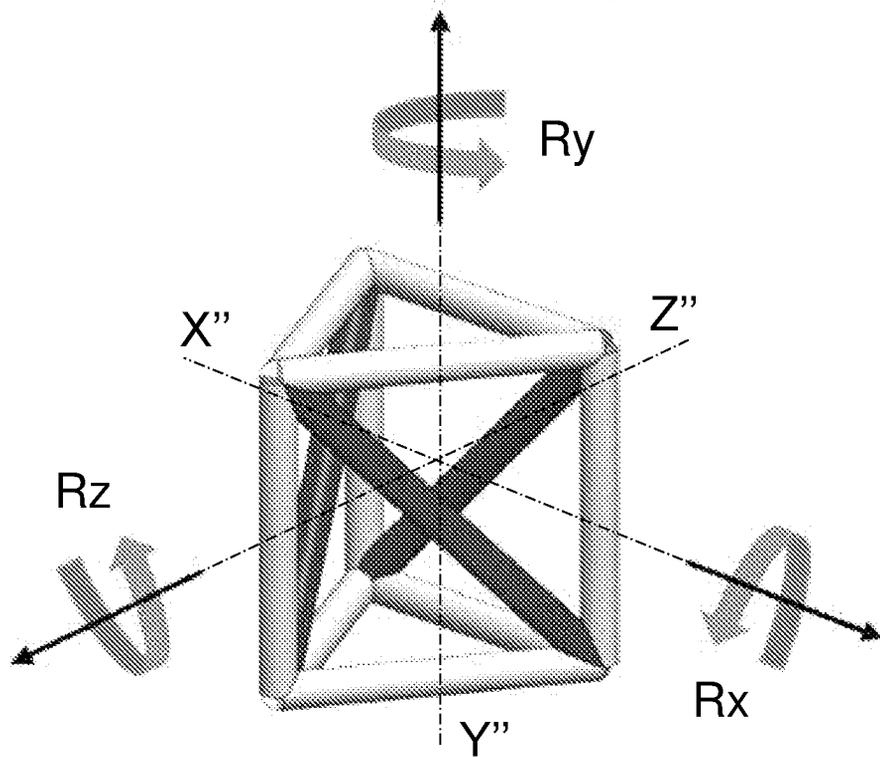
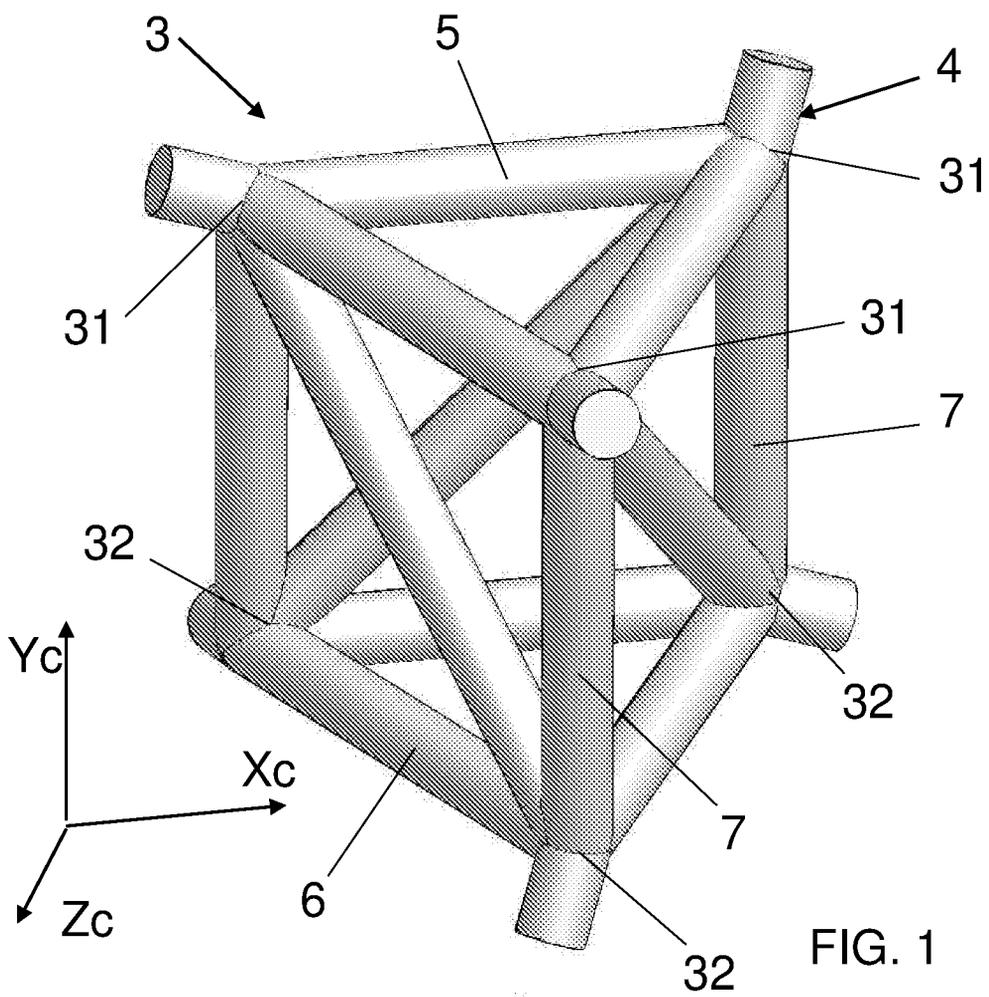
8. Metamateriale auxetico secondo una o più delle rivendicazioni precedenti,
caratterizzato dal fatto che detta cella operativa (2) ha comportamento auxetico con modulo di elasticità apparente compreso tra 0,1 GPa e 1 GPa.

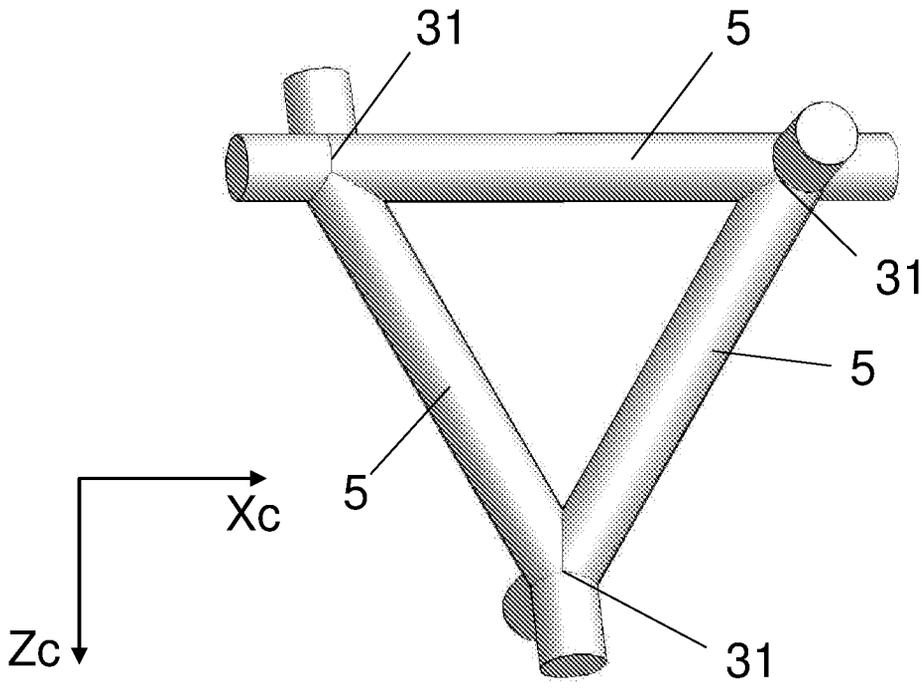
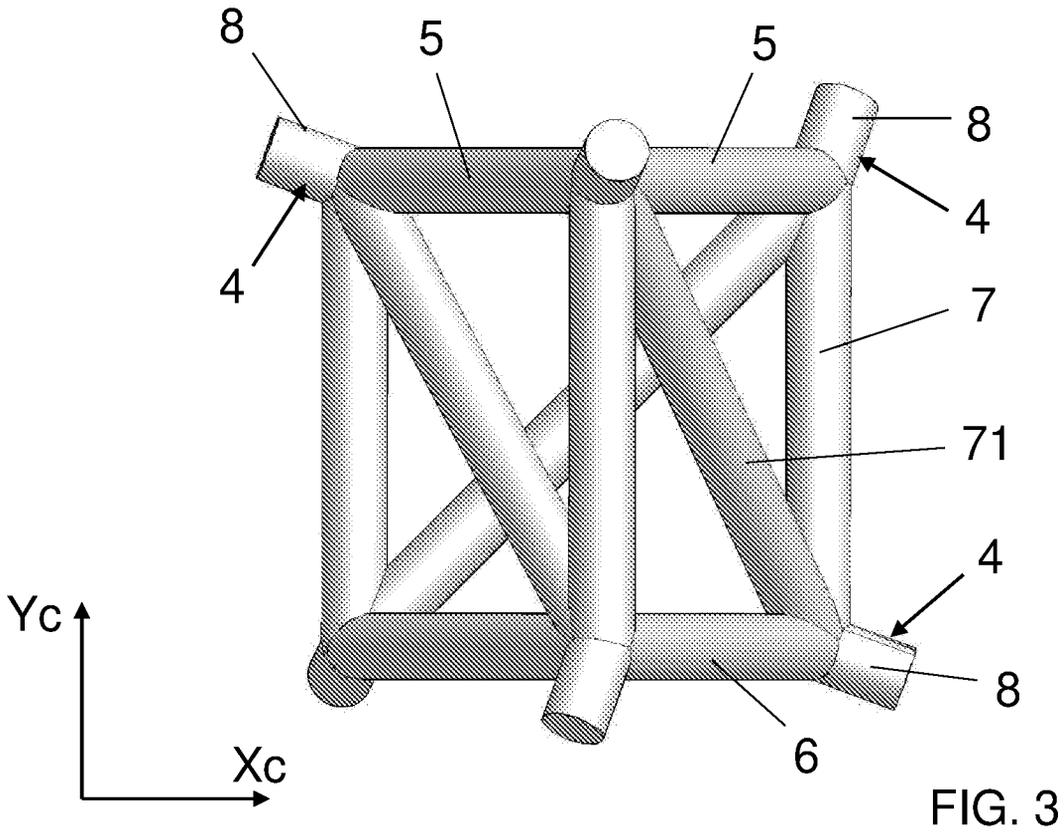
20 9. Corpo elementare (3) per la realizzazione di un metamateriale auxetico, destinato ad essere meccanicamente collegato ad altri congruenti corpi elementari, caratterizzato dal fatto che di avere forma sostanzialmente prismatica a base triangolare.

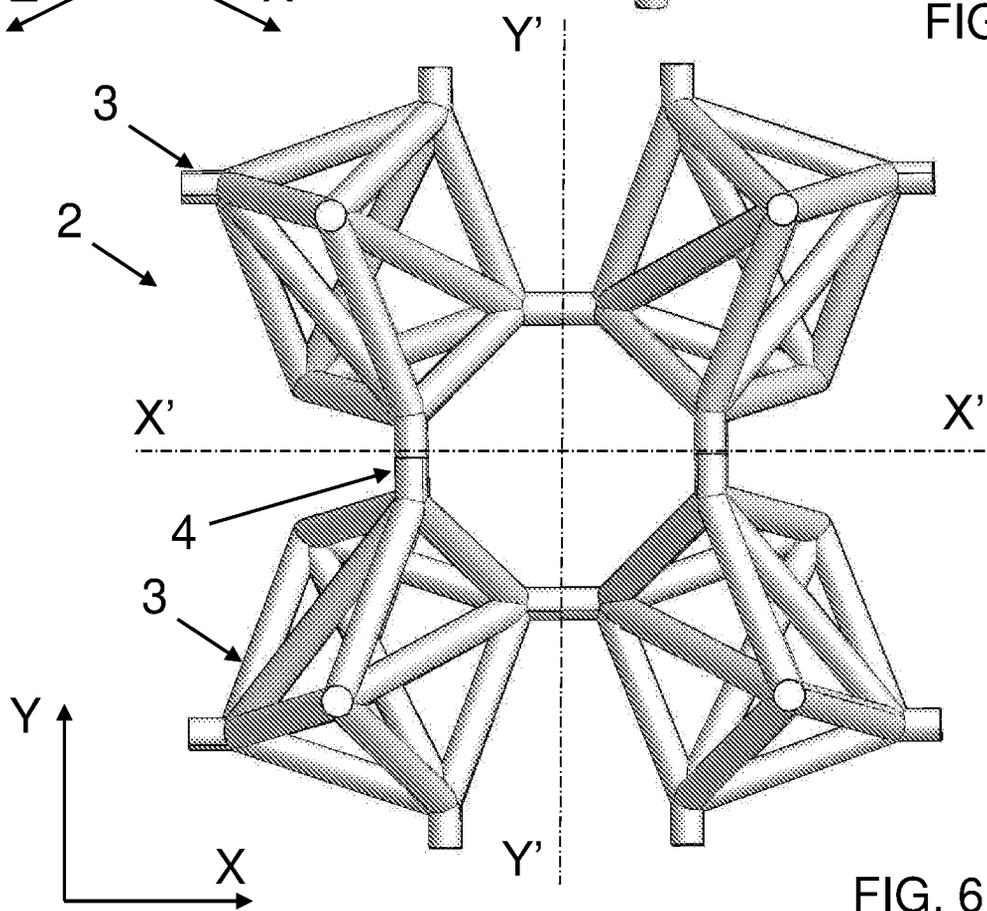
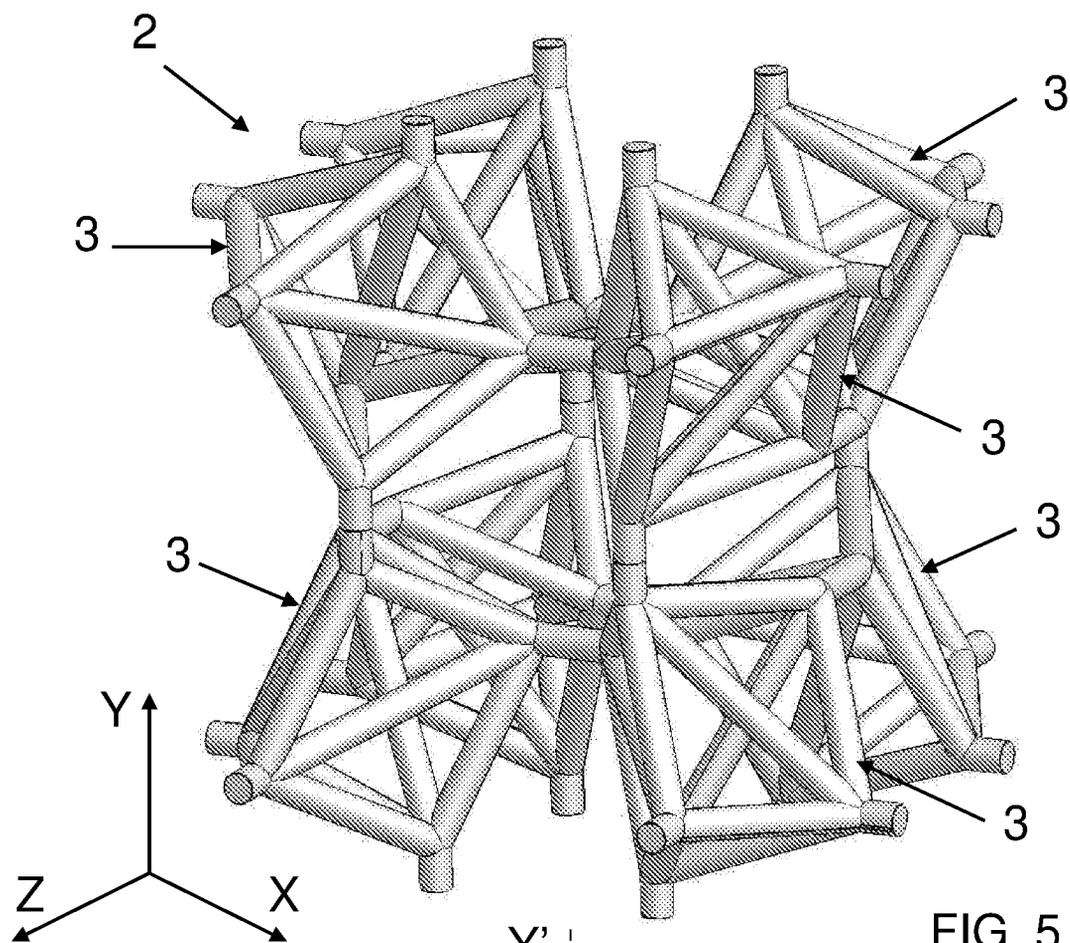
10. Cella operativa (2) di un metamateriale auxetico, dotata di coefficiente di Poisson negativo e caratterizzata dal fatto di comprendere una pluralità di corpi elementari (3) tra
25 loro congruenti e meccanicamente collegati,

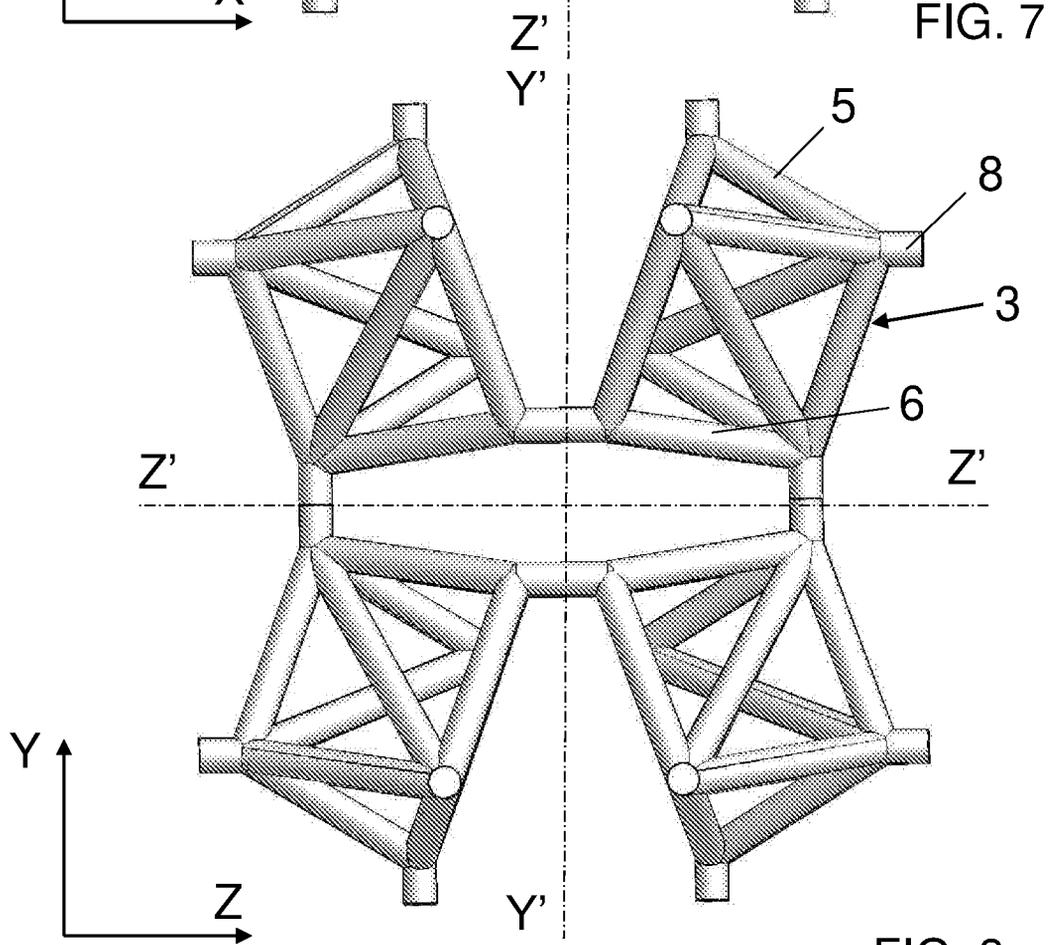
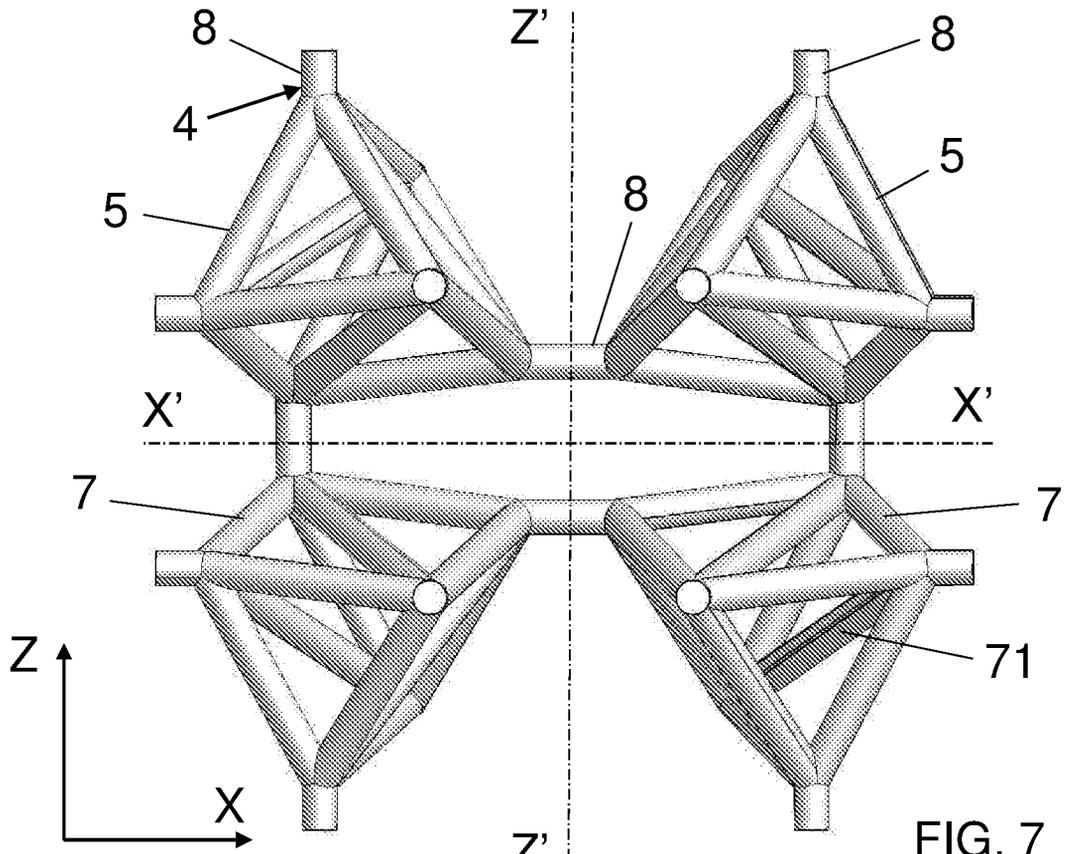
caratterizzato dal fatto che ciascuno di detti corpi elementari (3) ha forma sostanzialmente prismatica a base triangolare;

e dal fatto che detti corpi elementari (3) sono tra loro collegati in corrispondenza di rispettivi vertici (31, 32) mediante mezzi di collegamento (4) elasticamente cedevoli.









1

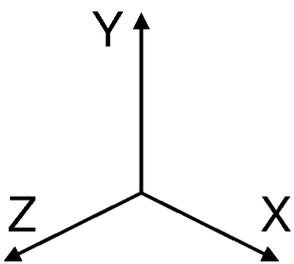
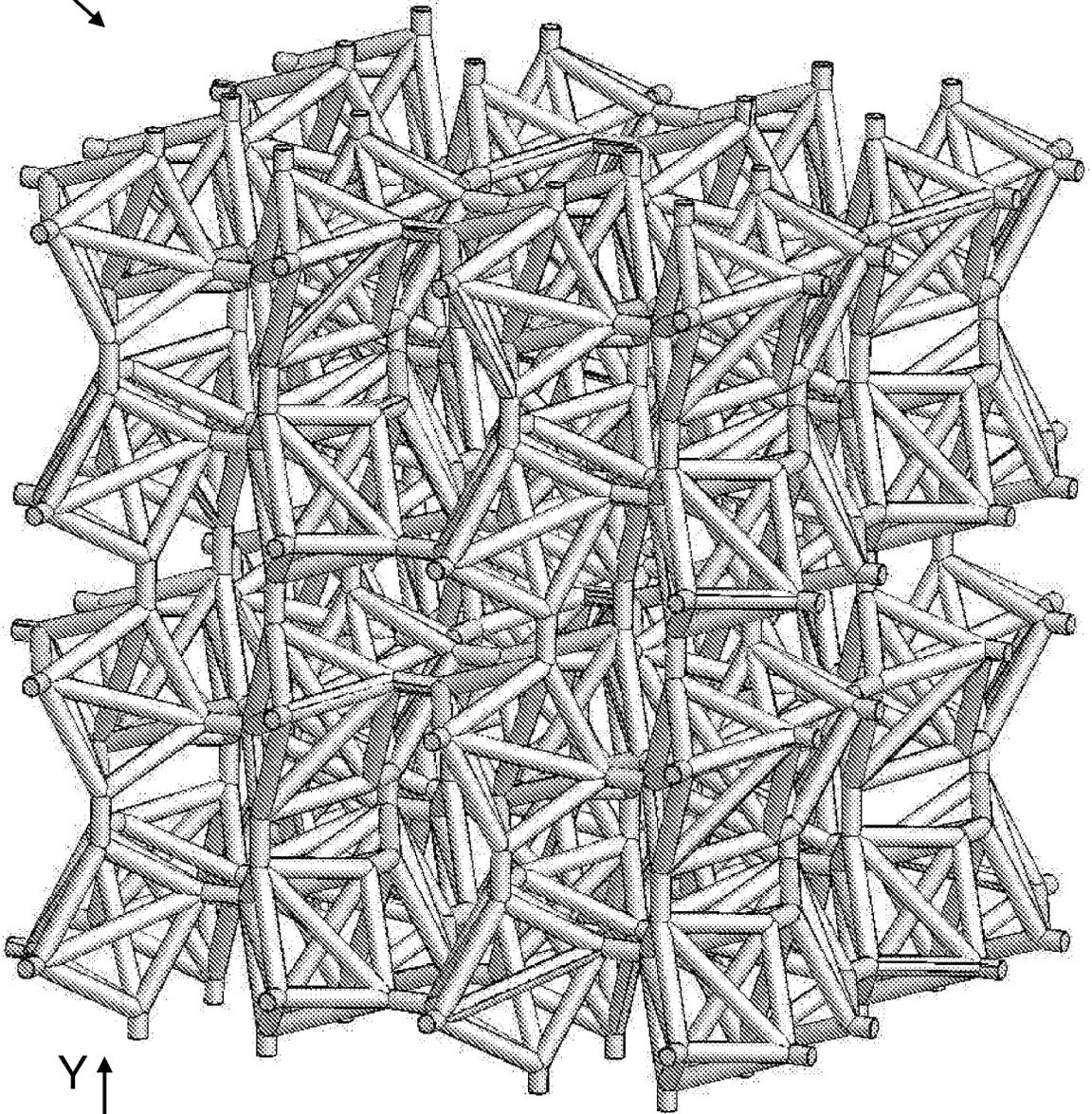


FIG. 9

