



Camera di Commercio Industria, Artigianato e
Agricoltura di ROMA

**Verbale di Deposito
Domanda di Brevetto
per INVENZIONE INDUSTRIALE**

Numero domanda: RM2012A000333

CCIAA di deposito: ROMA

Data di deposito: 13/07/2012

In data 13/07/2012 il richiedente ha presentato a me sottoscritto la seguente domanda di brevetto per Invenzione Industriale.

ROMA, 13/07/2012

L'Ufficiale Rogante

**Diritti di Segreteria
Bollo Virtuale**

**15,00 EURO
EURO**

A. RICHIEDENTE

Cognome Nome/ Denominazione UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI SALERNO
Codice fiscale: 80018670655
Indirizzo: FISCIANO (SA)
VIA PONTE DON MELILLO, 1 - cap 84084
Natura Giuridica: Persona Giuridica

C. TITOLO

Titolo ELEMENTO DI RINFORZO PER MATERIALI COMPOSITI E RELATIVO METODO DI PRODUZIONE.

D. INVENTORE DESIGNATO

Cognome Nome FRATERNALI FERNANDO
Nazionalità: ITALIA

I. MANDATARIO ABILITATO PRESSO L'UIBM

Mandatario Numero iscrizione albo: 456
IANNONE CARLO LUIGI
Denominazione BARZANO' & ZANARDO ROMA S.P.A.
Studio Indirizzo: ROMA (RM)
VIA PIEMONTE 26 cap 00187

M. DOCUMENTAZIONE DICHIARATA

Lista documenti **Tavole Disegno**
Numero esemplari allegati : 9
Numero esemplari di cui si riserva la presentazione: 0
Numero pagine per esemplare : 1

Rivendicazione in Italiano
Numero esemplari allegati : 1
Numero esemplari di cui si riserva la presentazione: 0
Numero pagine per esemplare : 4

Rivendicazione in Inglese

Numero esemplari allegati : 0

Numero esemplari di cui si riserva la presentazione: 1

Numero pagine per esemplare : 0

Descrizione in Italiano

Numero esemplari allegati : 1

Numero esemplari di cui si riserva la presentazione: 0

Numero pagine per esemplare : 21

Riassunto in Italiano

Numero esemplari allegati : 1

Numero esemplari di cui si riserva la presentazione: 0

Numero pagine per esemplare : 1

Lettera di Incarico/Autocertificazione

Numero esemplari allegati : 0

Numero esemplari di cui si riserva la presentazione: 1

Numero pagine per esemplare : 0

Copia autentica Non richiesta

**Anticipata accessibilità
al pubblico** Non concessa

- 1 -

ELEMENTO DI RINFORZO PER MATERIALI COMPOSITI E RELATIVO
METODO DI PRODUZIONE

La presente invenzione riguarda un elemento di rinforzo per materiali compositi e il relativo metodo di produzione.

Più precisamente, la presente invenzione riguarda elementi di rinforzo per materiali compositi, aventi una sezione trasversale e/o un profilo longitudinale aventi una forma geometrica complessa basata su uno o più algoritmi di tipo frattale.

Allo stato della tecnica sono noti elementi di rinforzo per materiali compositi, aventi superfici laterali lisce o dotati di risalti superficiali, nervature e/o scanalature, aventi forme ricavate dalla geometria classica in particolare rette e piani. In diverse applicazioni di interesse tecnico, tali forme semplici non consentono un ancoraggio ottimale dell'elemento di rinforzo alla matrice del materiale composito, e pertanto non risultano particolarmente efficaci per il rinforzo di tali materiali.

Scopo della presente invenzione è quello di sviluppare elementi di rinforzo aventi una struttura tale che permetta una più pronunciata aderenza alla matrice del materiale composito, rispetto agli elementi di tecnica nota.

Un ulteriore scopo della presente invenzione è quello di sviluppare tali elementi di rinforzo mediante un metodo che permetta la rapida elaborazione di tali

elementi.

E' oggetto della presente invenzione un elemento di rinforzo di materiali compositi, in cui detto elemento di rinforzo ha una forma definita utilizzando almeno un algoritmo frattale con almeno un parametro scalare di ricorsività.

In particolare secondo l'invenzione, la forma di detto elemento di rinforzo può essere definita utilizzando almeno un algoritmo frattale con almeno tre parametri scalari di ricorsività, in particolare un primo parametro scalare di ricorsività n , un secondo parametro scalare di ricorsività m e un terzo parametro scalare di ricorsività p .

Ulteriormente secondo l'invenzione, la sezione trasversale di detto elemento di rinforzo può presentare un perimetro costruito con detto almeno un algoritmo frattale facendo variare solamente detto primo parametro scalare di ricorsività n , mentre il profilo longitudinale di detto elemento di rinforzo può presentare una forma costruita con detto almeno un algoritmo frattale facendo variare detto secondo parametro scalare di ricorsività m e detto terzo parametro scalare di ricorsività p .

Ancora secondo l'invenzione, quando detto primo parametro n equivale a 0, detto perimetro di detta sezione trasversale può presenta una forma geometrica di base, oppure

quando detto primo parametro n è un numero intero maggiore di 0, detto perimetro di detta sezione trasversale può presentare una forma geometrica

complessa ottenuta mediante la ripetizione di detta forma geometrica di base secondo detto almeno un algoritmo frattale.

Sempre secondo l'invenzione, quando detto secondo parametro m equivale a 0 detto profilo longitudinale può presentare un andamento rettilineo, oppure

quando detto secondo parametro m equivale a 1, detto profilo longitudinale può presentare un andamento a forma geometrica di base, oppure

quando detto secondo parametro m equivale ad un numero intero maggiore di 1, detto profilo longitudinale può presentare una forma geometrica complessa ottenuta mediante la ripetizione di detta forma geometrica di base secondo detto almeno un algoritmo frattale.

Inoltre, secondo l'invenzione, detto terzo parametro p può definire il grado di ripetizione del profilo longitudinale definito da detto secondo parametro m .

Ulteriormente secondo l'invenzione, detto almeno un algoritmo frattale può essere basato sulla curva di Koch, o sulla curva di Dendrite Julia o curva di Gosper Island o setaccio di Apollonio in due o tre dimensioni.

In particolare secondo l'invenzione, detto elemento di rinforzo può essere in materiale polimerico o metallico o naturale o da riciclo dei rifiuti solidi o una combinazione dei suddetti materiali e può essere una fibra o una particella o un tessuto.

Inoltre, la presente invenzione riguarda un materiale composito comprendente un elemento di rinforzo e una matrice, detto materiale composito essendo caratterizzato dal fatto di comprendere almeno un

elemento di rinforzo come descritto in precedenza.

Ancora secondo l'invenzione, detto materiale composito può comprendere una pluralità di elementi di rinforzo disposti a rete.

Sempre secondo l'invenzione, detto materiale composito può comprendere una pluralità di avvolgimenti di detti elementi di rinforzo disposti a rilievo su elementi di rinforzo a sagoma compatta.

In particolare, secondo l'invenzione, detta matrice può essere una miscela cementizia, polimerica, ceramica o metallica.

Infine la presente invenzione riguarda un metodo di produzione di un materiale composito, comprendente un elemento di rinforzo come descritto in precedenza, detto metodo essendo caratterizzato dal fatto di comprendere le seguenti fasi:

- a) elaborazione della geometria di detto elemento strutturale di rinforzo con un software CAD di tipo commerciale;
- b) invio dati ad una stampante 3d;
- c) stampaggio di detto elemento; e
- d) inserimento di detto elemento strutturale in detta matrice.

L'invenzione verrà ora descritta a titolo illustrativo ma non limitativo, con particolare riferimento ai disegni delle figure allegate, in cui:

la figura 1 mostra schematicamente un materiale composito con elemento di rinforzo per materiali compositi secondo l'invenzione;

le figure 2A, 2B e 2C mostrano, rispettivamente, una

vista in sezione, una vista laterale di un modulo e una vista laterale di un doppio modulo di una prima forma di realizzazione di un elemento di rinforzo per materiali compositi;

le figure 3A, 3B e 3C mostrano, rispettivamente, una vista in sezione, una vista laterale di un modulo e una vista laterale di un doppio modulo di una seconda forma di realizzazione di un elemento di rinforzo per materiali compositi;

le figure 4A, 4B e 4C mostrano, rispettivamente, una vista in sezione, una vista laterale di un modulo e una vista laterale di un doppio modulo di una terza forma di realizzazione di un elemento di rinforzo per materiali compositi;

le figure 5A, 5B e 5C mostrano, rispettivamente, una vista in sezione, una vista laterale di un modulo e una vista laterale di un doppio modulo di una quarta forma di realizzazione di un elemento di rinforzo per materiali compositi;

le figure 6A, 6B e 6C mostrano, rispettivamente, una vista in sezione, una vista laterale di un modulo e una vista laterale di un doppio modulo di una quinta forma di realizzazione di un elemento di rinforzo per materiali compositi;

le figure 7A, 7B e 7C mostrano, rispettivamente, una vista in sezione, una vista laterale di un modulo e una vista laterale di un doppio modulo di una sesta forma di realizzazione di un elemento di rinforzo per materiali compositi;

le figure 8A e 8B mostrano, rispettivamente, una vista

in sezione e una vista laterale di un modulo di una settima forma di realizzazione di un elemento di rinforzo per materiali compositi;

le figure 9A e 9B mostrano, rispettivamente, una vista in sezione e una vista laterale di un modulo di una ottava forma di realizzazione di un elemento di rinforzo per materiali compositi;

le figure 10A e 10B mostrano, rispettivamente, una vista in sezione e una vista laterale di un modulo di una nona forma di realizzazione di un elemento di rinforzo per materiali compositi;

la figura 11 mostra una vista laterale di un tessuto formato da una pluralità di elementi di rinforzo nella settima forma di realizzazione;

la figura 12 mostra una vista laterale di un tessuto formato da una pluralità di elementi di rinforzo nella settima, ottava e nona forma di realizzazione;

la figura 13 mostra una vista laterale di un tessuto formato da una pluralità di elementi di rinforzo nella nona forma di realizzazione;

le figure 14 e 15 mostrano una vista rispettivamente trasversale e laterale di una decima forma di realizzazione dell'elemento di rinforzo secondo l'invenzione;

la figura 16 mostra una vista tridimensionale di una undicesima forma di realizzazione dell'elemento di rinforzo secondo l'invenzione; e

la figura 17 mostra una vista tridimensionale di una dodicesima forma di realizzazione dell'elemento di rinforzo secondo l'invenzione.

La presente invenzione riguarda elementi di rinforzo per materiali compositi. Come è ben noto i materiali compositi comprendono una matrice e uno o più elementi di rinforzo, così da migliorare le caratteristiche di resistenza meccanica del materiale.

Gli elementi di rinforzo secondo l'invenzione presentano una struttura a geometria complessa, ottenuta mediante l'applicazione di algoritmi fondati sulla ripetizione, a diverse scale, di forme base (come triangoli, esagoni, cerchi, poliedri, sfere, ecc.) fra loro perfettamente omotetiche, ovvero in cui la stessa forma si ripete a diverse scale, o quasi-omotetiche, ottenute mediante deformazione di forme omotetiche, oppure solo qualitativamente omotetiche, ovvero completamente casuali.

Tali algoritmi sono impiegati per generare il corpo e quindi la sezione longitudinale e/o trasversale di detti elementi di rinforzo.

A seconda del campo di applicazione, detti elementi possono consistere in fibre, avvolgimenti, tessuti e/o particelle di rinforzo.

L'algoritmo generativo della geometria dell'elemento strutturale secondo l'invenzione può essere di tipo deterministico oppure statistico.

Nel caso si tratti di algoritmo deterministico, la successione delle forme prescelte, nelle diverse scale, è definita in senso deterministico.

Mentre nel caso si tratti di algoritmo statistico, la successione delle forme prescelte è ottenuta attraverso l'inserimento casuale, alle varie scale, di diverse

forme e/o diverse orientazioni di una stessa forma. Inoltre, può essere prevista l'applicazione di combinazioni di algoritmi deterministici e statistici. L'applicazione di detto algoritmo generativo viene ripetuta fino al raggiungimento di un livello di complessità strutturale desiderato.

Quest'ultimo è scelto in funzione del particolare tipo di impiego di detti elementi di rinforzo, in particolare le variabili impiegate essendo legate alle dimensioni del materiale composito finale, alla natura della matrice, alle condizioni di impiego, alla tecnologia di produzione disponibile e ad altre eventuali variabili.

Detti elementi di rinforzo possono essere realizzati in materiali metallici (acciaio, alluminio, ecc.), polimerici (polipropilene, polietilene tereftalato, ecc.), naturali (lino, juta, kenaf, ecc.), materiali derivanti dal riciclo di rifiuti solidi (plastica, vetro, metalli, gomme, cellulosa, ecc.); e/o materiali di nuova sintesi industriale (materiali plastici, metallici, a base di carbonio, ecc.). Inoltre, possono essere previste opportune miscele dei suddetti materiali, come fibre ibride.

Detta matrice 2 può essere in materiale di tipo cementizio, polimerico, metallico, ceramico, ecc., in base all'applicazione del materiale composito.

Le sezioni longitudinali e trasversali di detti elementi di rinforzo possono essere scelte sulla base delle dimensioni della matrice, in modo da consentire una miscibilità ottimale tra detti elementi di rinforzo

e detta matrice, ed in relazione al processo produttivo da impiegarsi.

Detti elementi di rinforzo possono essere impiegati per il rafforzamento di diverse tipologie di materiali compositi, come, ad esempio, a singolo strato, laminati e/o a sandwich.

Il materiale composito ottenuto, comprendente detti elementi di rinforzo e detta matrice può essere applicato in diversi settori, come ad esempio nel settore automobilistico, nel settore aeronautico, nel settore edilizio, nel settore ferroviario, nel settore elettrico, nel settore navale, nel settore sportivo, nel settore medicale, ecc.

A parità di volume di materiale impiegato, la geometria complessa di detti elementi di rinforzo secondo l'invenzione, determina vantaggiosamente un consistente aumento della superficie longitudinale di tali elementi, rispetto a sagome note di tipo compatto, facilitando significativamente l'adesione, o "grip", di detti elementi di rinforzo alla matrice, e favorendo un evidente risparmio in termini economici e di quantità di materiale impiegato.

In preferite forme di realizzazione vengono impiegate forme aventi geometrie di tipo frattale, sfruttando le proprietà di contrattilità ed invarianza di scala proprie di tali geometrie.

Facendo ora riferimento alla figura 1, si osserva una prima forma di realizzazione dell'elemento strutturale di rinforzo secondo l'invenzione indicato genericamente con il riferimento numerico 1, inserito in una matrice

2, in modo da formare un materiale composito 10 con l'obiettivo di rafforzarne la struttura e di migliorarne le proprietà meccaniche.

In particolare, per l'elaborazione della sezione trasversale e del profilo longitudinale di detti elementi di rinforzo 1 viene impiegato un algoritmo frattale, in particolare applicando la nota curva di Koch di tipo triangolare, secondo tre distinti parametri scalari di ricorsività n , m e p .

Venendo ora ad osservare le figure da 2 a 7, sono mostrate sei diverse forme di realizzazione dell'elemento di rinforzo 1 per materiali compositi secondo l'invenzione, ottenuto applicando la curva di Koch.

In particolare, il primo parametro n controlla il livello di complessità della sezione trasversale di detto elemento strutturale, in cui per n equivalente a 0, tale sezione assume una forma iniziale di triangolo, come mostrato in figura 2A. Nel caso in cui detto primo parametro n equivalga a 1, come mostrato in figura 3A, a ciascun lato di detto triangolo iniziale di figura 2A viene aggiunto un triangolo, avente i lati di dimensioni equivalenti ad un terzo del lato del triangolo iniziale 1.

La costruzione può essere ripetuta ricorsivamente su ciascun sottosegmento generato dalla precedente addizione, dando luogo a forme caratterizzate da livelli di complessità in cui detto primo parametro n equivale a 2 (come mostrato in figura 4A), 3 (come mostrato in figura 5A), 4 (come mostrato in figura 6A),

5 (come mostrato in figura 7A) ecc..

Detto secondo parametro m controlla il livello di complessità del profilo longitudinale dell'elemento strutturale e detto terzo parametro p la ripetitività in senso longitudinale della forma generata da detto secondo parametro m .

In particolare, quando detto secondo parametro m equivale a 0, e detto terzo parametro p equivale a 1, detto profilo trasversale presenta un andamento rettilineo iniziale, come mostrato in figura 2B, mentre quando detto secondo parametro m equivale a 1, con $p = 1$, detto profilo trasversale presenta una forma a curva di Koch triangolare aperta come mostrato in figura 3B, tale forma è ottenuta tramite la sostituzione di una porzione centrale del segmento rettilineo iniziale con un triangolo.

Ulteriori forme ricorsive in grado di sostituire i segmenti di detto triangolo con ulteriori triangoli di base, vengono ottenute con detto secondo parametro m equivalente a 2 (figura 4B), 3 (figura 5B), 4 (figura 6B), 5 (figura 7B) ecc..

Nelle figure 2C - 7C sono mostrati i casi in cui viene variato detto terzo parametro p permettendo la ripetizione delle forme generate da detto secondo parametro m . In particolare, in figura 2C è mostrato il caso in cui $m = 0$ e $p = 2$, e nelle figure 3C - 7C è mostrato il caso in cui m varia e p equivale a 2.

E' evidente che possono essere previste diverse combinazioni dei detti parametri citati, senza uscire dall'ambito di protezione della presente invenzione,

detti parametri n e m potendo essere due numeri interi maggiori o uguali a zero e detto parametro p potendo essere un numero intero maggiore o uguale a uno.

L'impiego della geometria frattale come, ad esempio, la curva di Koch, presenta il vantaggio proprio delle proprietà geometrico - matematiche dei frattali, ovverosia di possedere uno sviluppo totale, denominato misura o dimensione di Hausdorff, superiore alla dimensione topologica.

Gli elementi di rinforzo a struttura compatta non godono, invece, di analoghe proprietà e sono caratterizzati da misura di Hausdorff corrispondente alla dimensione topologica.

Ciò può essere dimostrato prendendo in considerazione le forme di realizzazione mostrate nelle figure 2 - 7, in cui viene impiegata la curva di Koch, definendo come coefficiente di complessità strutturale trasversale, il rapporto tra il perimetro della sezione trasversale delle fibra di Koch e la circonferenza di un cerchio di pari area, e come coefficiente di complessità strutturale longitudinale, il rapporto tra il perimetro del profilo longitudinale della fibra di Koch (per $m > 0$) ed il perimetro di una fibra rettilinea (per $m = 0$) avente pari area della sezione longitudinale, come mostrato nella seguente tabella i coefficienti suddetti sono significativamente maggiori dell'unità già per valori di n e m pari a 1.

Coefficiente di complessità strutturale trasversale				
n	perimetro sezione	area sezione	circonferenza cerchio equivalente	perimetro/circonferenza
03.00 L		0.4330 L ²	2.33 L	1.29
14.00 L		0.5773 L ²	2.69 L	1.49
25.33 L		0.6415 L ²	2.84 L	1.88
37.11 L		0.6700 L ²	2.90 L	2.45
Coefficiente di complessità strutturale longitudinale				
m	perimetro profilo longitudinale	perimetro segmento rettilineo	perimetro/segmento	
01.00 L		1.00 L	1.00	
11.33 L		1.00 L	1.33	
21.78 L		1.00 L	1.78	
32.37 L		1.00 L	2.37	

In particolare, per $n = m = 3$ si osserva che la fibra di Koch ha perimetro trasversale pari a 2.45 volte il perimetro di una fibra di sezione circolare di uguale area e perimetro longitudinale pari a 2,37 volte il perimetro della fibra rettilinea di pari area. Ciò implica che la misura della superficie laterale di tale fibra sia pari a $2.45 \times 2.37 = 5.81$ volte la misura della superficie laterale di una fibra a sezione circolare di pari volume.

Pertanto l'applicazione delle geometrie frattali agli elementi di rinforzo secondo l'invenzione, permette di creare forme complesse aventi una superficie laterale di aderenza considerevolmente maggiore rispetto alle forme impiegate in arte nota, a parità di volume.

Un ulteriore vantaggio degli elementi di rinforzo secondo l'invenzione, rispetto a elementi rettilinee,

deriva dal fatto che la sagoma longitudinale di tali elementi presenta ricorrenti elementi sporgenti, ramificati e/o a forma di cappio, comportando un notevole aumento della resistenza di sfilamento dalla matrice, ovvero un considerevole potere di ancoraggio o *grip*.

Ulteriori forme di realizzazione degli elementi di rinforzo secondo l'invenzione possono essere ottenute mediante ulteriori algoritmi ricorsivi, sia di tipo deterministico che di tipo casuale.

Nelle figure 8 - 16 sono mostrate ulteriori forme di realizzazione dell'elemento strutturale di rinforzo secondo l'invenzione, in diverse applicazioni e conformazioni.

In figura 8 per l'elaborazione dell'elemento strutturale di rinforzo 1 è stata applicata la curva di Koch in cui la forma ripetuta è un esagono, sia in sezione trasversale (fig. 8A) e longitudinale (fig. 8B).

In figura 9 per l'elaborazione dell'elemento strutturale di rinforzo 1 è stata applicata la curva di Koch in cui sono state applicate più forme ricorsive secondo una disposizione casuale, sia in sezione trasversale (fig. 9A) che longitudinale (fig. 9B).

In figura 10 per l'elaborazione dell'elemento strutturale di rinforzo 1 è stata applicata la curva di Gosper Island in sezione trasversale (fig. 10A) e la curva Dendrite Julia in sezione longitudinale (fig. 10B).

Nelle figure 11 - 13 sono mostrate forme di

realizzazione della presente invenzione sotto forma di tessuti di rinforzo strutturale, ottenuti mediante l'intreccio di fibre di rinforzo 1 secondo l'invenzione, in particolare in figura 11 relative alle fibre secondo la settima forma di realizzazione, con inserimenti di specchiature della forma base rispetto alla linea media lungo lo sviluppo longitudinale della fibra, in figura 12 relative alla combinazione delle fibre corrispondenti alla settima, con inserimenti di specchiature della forma base rispetto alla linea media lungo lo sviluppo longitudinale della fibra, ottava e nona forma di realizzazione, ed in figura 13 relative alla unione di maglie con profilo corrispondente a quello della sezione trasversale delle fibre secondo la nona forma di realizzazione.

Nelle figure 14 - 15 è mostrato un elemento o particella di rinforzo 1 secondo l'invenzione, inserito nella matrice 2 del materiale composito 10. Detta particella di rinforzo 1, presenta una pluralità di inserti tridimensionali 3, come le sfere mostrate nelle figure 14 e 15, per migliorare l'aderenza di dette particelle 1 al materiale matrice 2. La generazione della geometria di tale particella utilizza la composizione di due distinte costruzioni frattali: una figura piana, che abbia come frontiera una curva di Koch chiusa di base triangolare, esagonale o di altro tipo e complessità arbitraria n , viene estrusa tridimensionalmente generando una prima particella solida; sulle basi terminali di tale particella si inseriscono dei risalti semisferici generati a partire

da setacci bidimensionali di Apollonio con livello di ricorsività q arbitrario, ottenendo in definitiva la particella illustrata nelle figure 14 - 15. La costruzione frattale del setaccio di Apollonio in due dimensioni è la seguente: si inizia con la costruzione di tre cerchi mutuamente tangenti (complessità $q=0$); si aggiunge successivamente un nuovo cerchio (detto nel seguito cerchio "Soddy"), che sia tangente esternamente a tali tre cerchi e che li racchiuda al suo interno (complessità $q=1$); si riempiono gli spazi tra il cerchio Soddy esterno ed i cerchi interni con ulteriori cerchi Soddy (cerchi tangenti ai tre cerchi che delimitano ciascun interstizio vuoto: complessità $q=2$); si ripete la costruzione suddetta in corrispondenza di ciascun interstizio lasciato vuoto dallo stadio precedente della costruzione, fino al raggiungimento della complessità q desiderata. La costruzione si può rifinire, se necessario, con la rimozione di alcuni dei cerchi generati mediante l'algoritmo del setaccio di Apollonio 2D. I risalti applicati sulle basi della particella mostrata nelle figure 14-15 sono ottenuti sostituendo ai cerchi interni di un setaccio di Apollonio bidimensionale semisfere di pari diametro. Tali risalti possono essere applicati in corrispondenza di regioni arbitrarie delle basi terminali della particella.

Nella figura 16 è mostrata un elemento o particella di rinforzo 1, secondo l'invenzione in una undicesima forma di realizzazione, inserito nella matrice 2 del materiale composito 10. Detta particella è formata da

un setaccio di Apollonio in tre dimensioni avente complessità q arbitraria. La costruzione tridimensionale del setaccio di Apollonio è la seguente: si comincia con la costruzione di quattro sfere (nel seguito dette sfere "tetraedrali"), che abbiano i centri in corrispondenza dei vertici di un opportuno tetraedro (complessità $q=0$); si aggiunge successivamente una nuova sfera (detta nel seguito sfera "Soddy"), che sia tangente esternamente a queste quattro sfere e che le racchiuda al suo interno (complessità $q=1$); si riempiono gli spazi tra la sfera Soddy esterna e le sfere tetraedrali interne con ulteriori sfere Soddy tangenti alle quattro sfere che delimitano ciascun interstizio vuoto (complessità $q=2$); si ripete la costruzione suddetta in corrispondenza di ogni interstizio lasciato vuoto dallo stadio precedente della costruzione, fino al raggiungimento della complessità q desiderata. La costruzione si può rifinire, se necessario, con la rimozione di alcune delle sfere generate mediante l'algoritmo del setaccio di Apollonio 3D. Se q è pari ad un numero intero finito (maggiore o uguale a 0), la costruzione suddetta genera una particella composta caratterizzata da vuoti interni. Per q tendente all'infinito, l'elemento generato dalla costruzione di Apollonio 3D tende invece ad assumere l'aspetto di una particella solida continua.

Nella figura 17 è mostrata un elemento o avvolgimento di rinforzo, secondo l'invenzione in una dodicesima forma di realizzazione, inserito come rilievo su di una

fibra di rinforzo a profilo compatto 4, che a sua volta è inserita nella matrice 2 del materiale composito 10. Detto avvolgimento è formato dall'intreccio sulla superficie laterale della fibra 4 di filamenti di rinforzo 1 secondo l'invenzione, che sono ottenuti mediante una costruzione frattale fondata sulla successione e sulla specchiatura di elementi a forma di curva di Koch a base esagonale ed elementi a forma di curva di Koch a base triangolare.

Il metodo di produzione di detti elementi di rinforzo secondo l'invenzione prevede l'impiego di processi industriali di estrusione, e/o di processi di prototipazione rapida.

In particolare il procedimento di estrusione può essere impiegato in presenza di un livello di dettaglio dell'elemento strutturale di rinforzo dell'ordine del decimo di millimetro e nel caso in cui detti elementi di rinforzo presentino un profilo longitudinale lineare.

Il procedimento di prototipazione rapida può consentire di raggiungere livelli di dettaglio fino all'ordine del centesimo di millimetro ed un grado di complessità maggiore, rispetto al processo di estrusione, sia in sezione trasversale che nel profilo longitudinale.

Procedimenti alla nanoscala potranno impiegarsi per ottenere livelli di dettaglio a scala ancora più fine (scala nanometrica).

In particolare, un preferito metodo di fabbricazione di detti elementi di rinforzo impiega sistema di prototipazione rapida per deposizione.

Tale tecnica nota consente di realizzare modelli per sovrapposizione di materiali "strato su strato". Una volta costruito un modello CAD dell'elemento da realizzare, mediante un software di tipo commerciale (AutoCAD, SolidWorks, ecc.), si trasferisce tale disegno ad un'opportuna stampante 3D, che realizza una riproduzione reale dell'elemento di rinforzo.

I materiali impiegati per la prototipazione rapida possono essere polveri, liquidi, fili o laminati.

A seconda della tipologia di materiale impiegato si distinguono diverse tecniche RP per deposizione ognuna delle quali è caratterizzata da un differente livello di risoluzione.

La tecnica di sinterizzazione laser parte da materiali che hanno consistenza di polveri, per lo più termoplastici e metallici. Esponendo le polveri alle radiazioni di un laser, queste vengono sinterizzate, definendo la sezione strato per strato fino alla completa realizzazione del prototipo. Le parti a sbalzo vengono sostenute dalla polvere non trattata, senza bisogno di alcun supporto. La risoluzione che si ottiene è del decimo di millimetro.

La tecnica di fotopolimerizzazione parte da materiali con consistenza liquida. I vari strati, esposti ad una lampada UV, solidificano, fino alla completa definizione del prototipo. A differenza della tecnica di sinterizzazione, le parti sporgenti devono essere sostenute da supporti. La risoluzione va dai 30 ai 16 micron (spessore minimo di uno strato).

La tecnica di modellazione fusa, infine, utilizza fili

di materiali differenti (in genere ABS). Il materiale viene fuso attraverso una testa di estrusione. Il prototipo viene realizzato con la deposizione del materiale mediante un ugello calibrato. Tale tecnica permette un livello di risoluzione non inferiore ai 170 micron.

Livelli di dettaglio fino alla scala del nanometro (10^{-9} m) potranno ottenersi utilizzando, ad esempio, nanotecnologie "bottom-up" quali l'auto-assemblaggio molecolare o l'auto-assemblaggio algoritmico; approcci "top-down" quali la nanolitografia o procedimenti quali la pirolisi spray. Qualsiasi altra nanotecnologia che consenta di realizzare la geometria degli elementi multiscala potrà essere altresì impiegata.

Potranno tuttavia impiegarsi anche ulteriori processi produttivi (quali ad esempio, la filatura, nel caso dei tessuti) che siano in grado di realizzare le geometrie e le proprietà fisico-meccaniche desiderate.

La tecnologia di prototipazione presenta, in particolare, numerosi e peculiari vantaggi. Come si è già osservato. Tale processo produttivo si sta rapidamente diffondendo in campo tecnico ed è ragionevole attendersi una progressiva riduzione dei costi produzione ad esso associati nei prossimi anni. Ciò potrà rendere tale processo agevolmente disponibile a piccole e medie imprese. E' anche ragionevole attendersi che in un futuro prossimo potranno impiegarsi svariati materiali per la prototipazione rapida, compresi materiali naturali e materiali da riciclo. Vi è da osservare, infine, che le stampanti 3D

sono abbastanza veloci ed affidabili ed offrono la possibilità di assemblare parti composte da diversi materiali in un unico processo produttivo. La prototipazione rapida potrà quindi consentire, in un futuro prossimo, di ottenere particelle, avvolgimenti e fibre di rinforzo con un elevato livello di dettaglio e con combinazioni ottimali di diverse proprietà meccaniche e fisiche di interesse, quali, ad esempio, le resistenze meccanica, termica; acustica ed al fuoco; la conduttività elettrica; la stabilità termica e la durabilità.

Più in particolare il metodo di produzione per prototipazione rapida di tali elementi di rinforzo prevede le seguenti fasi:

- a) elaborazione della geometria di detto elemento strutturale di rinforzo con un software CAD di tipo commerciale;
- b) invio dati ad una stampante 3d;
- c) stampaggio di detto elemento; e
- d) inserimento di detto elemento strutturale in detta matrice.

In quel che precede sono state descritte le preferite forme di realizzazione e sono state suggerite delle varianti della presente invenzione, ma è da intendersi che gli esperti del ramo potranno apportare modificazioni e cambiamenti senza con ciò uscire dal relativo ambito di protezione, come definito dalle rivendicazioni allegate.

Barzanò & Zanardo Roma S.p.A.

RIVENDICAZIONI

1. Elemento di rinforzo (1) di materiali compositi (10), in cui detto elemento di rinforzo (1) ha una forma definita utilizzando almeno un algoritmo frattale con almeno un parametro scalare di ricorsività.
2. Elemento di rinforzo (1) secondo la rivendicazione precedente, caratterizzato dal fatto che la forma è definita utilizzando almeno un algoritmo frattale con almeno tre parametri scalari di ricorsività, in particolare un primo parametro scalare di ricorsività n , un secondo parametro scalare di ricorsività m e un terzo parametro scalare di ricorsività p .
3. Elemento di rinforzo (1) secondo la rivendicazione precedente, caratterizzato dal fatto che la sezione trasversale di detto elemento di rinforzo (1) presenta un perimetro costruito con detto almeno un algoritmo frattale facendo variare solamente detto primo parametro scalare di ricorsività n , mentre il profilo longitudinale di detto elemento di rinforzo (1) presenta una forma costruita con detto almeno un algoritmo frattale facendo variare detto secondo parametro scalare di ricorsività m e detto terzo parametro scalare di ricorsività p .
4. Elemento di rinforzo (1) secondo la rivendicazione precedente, caratterizzato dal fatto che quando detto primo parametro n equivale a 0, detto perimetro di detta sezione trasversale presenta una forma geometrica di base, oppure quando detto primo parametro n è un numero intero

maggiore di 0, detto perimetro di detta sezione trasversale presenta una forma geometrica complessa ottenuta mediante la ripetizione di detta forma geometrica di base secondo detto almeno un algoritmo frattale.

5. Elemento di rinforzo (1) secondo una qualsiasi delle rivendicazioni 3 o 4, caratterizzato dal fatto che quando detto secondo parametro m equivale a 0 detto profilo longitudinale presenta un andamento rettilineo, oppure

quando detto secondo parametro m equivale a 1, detto profilo longitudinale presenta un andamento a forma geometrica di base, oppure

quando detto secondo parametro m equivale ad un numero intero maggiore di 1, detto profilo longitudinale presenta una forma geometrica complessa ottenuta mediante la ripetizione di detta forma geometrica di base secondo detto almeno un algoritmo frattale.

6. Elemento di rinforzo (1) secondo una qualsiasi delle rivendicazioni 3 - 5, caratterizzato dal fatto che detto terzo parametro p definisce il grado di ripetizione del profilo longitudinale definito da detto secondo parametro m .

7. Elemento di rinforzo (1) secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, caratterizzato dal fatto che detto almeno un algoritmo frattale è basato sulla curva di Koch.

8. Elemento di rinforzo (1) secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, caratterizzato dal fatto che detto almeno un algoritmo frattale è basato sulla curva

di Dendrite Julia o curva di Gosper Island o setaccio di Apollonio in due o tre dimensioni.

9. Elemento di rinforzo (1) secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, caratterizzato dal fatto di essere in materiale polimerico o metallico o naturale o da riciclo dei rifiuti solidi o una combinazione dei suddetti materiali.

10. Elemento di rinforzo (1) secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, caratterizzato dal fatto di essere una fibra o una particella o un tessuto.

11. Materiale composito (10) comprendente un elemento di rinforzo (1) e una matrice (2), detto materiale composito (10) essendo caratterizzato dal fatto di comprendere almeno un elemento di rinforzo (1) come rivendicato nelle rivendicazioni 1 - 10.

12. Materiale composito secondo la rivendicazione precedente, caratterizzato dal fatto di comprendere una pluralità di elementi di rinforzo (1) disposti a rete.

13. Materiale composito secondo la rivendicazione 11, caratterizzato dal fatto di comprendere una pluralità di avvolgimenti di detti elementi di rinforzo (1) disposti a rilievo su elementi di rinforzo a sagoma compatta (4).

14. Materiale composito secondo una qualsiasi delle rivendicazioni 11 - 13, caratterizzato dal fatto che detta matrice è una miscela cementizia, polimerica, ceramica o metallica.

15. Metodo di produzione di un materiale composito (10), comprendente un elemento di rinforzo (1) come

rivendicato nelle rivendicazioni 1 - 10, detto metodo essendo caratterizzato dal fatto di comprendere le seguenti fasi:

- a) elaborazione della geometria di detto elemento strutturale di rinforzo con un software CAD di tipo commerciale;
- b) invio dati ad una stampante 3d;
- c) stampaggio di detto elemento; e
- d) inserimento di detto elemento strutturale in detta matrice.

Barzanò & Zanardo Roma S.p.A.

RIASSUNTO

ELEMENTO DI RINFORZO PER MATERIALI COMPOSITI E RELATIVO
METODO DI PRODUZIONE

La presente invenzione riguarda un elemento di rinforzo (1) di materiali compositi (10), in cui detto elemento di rinforzo (1) ha una forma definita utilizzando almeno un algoritmo frattale con almeno un parametro scalare di ricorsività. L'invenzione riguarda anche il relativo metodo di produzione di detto elemento di rinforzo.

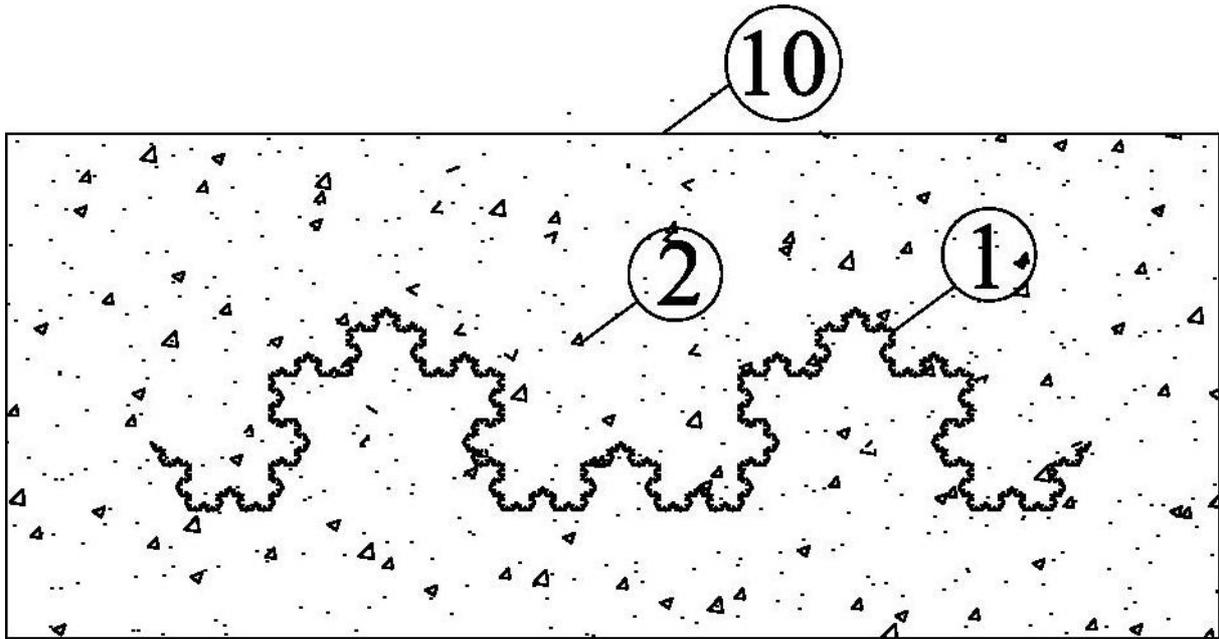


Fig. 1

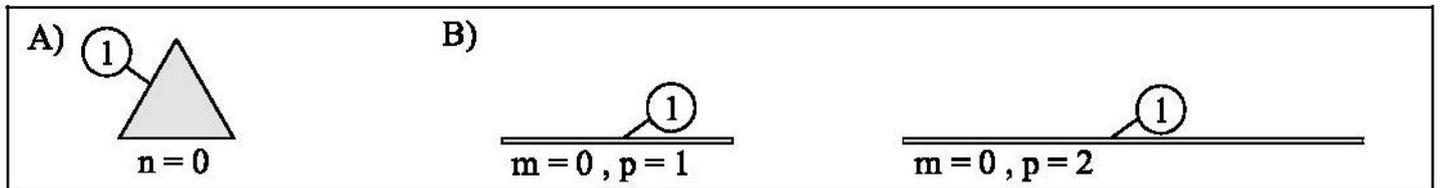


Fig. 2A

Fig. 2B

Fig. 2C

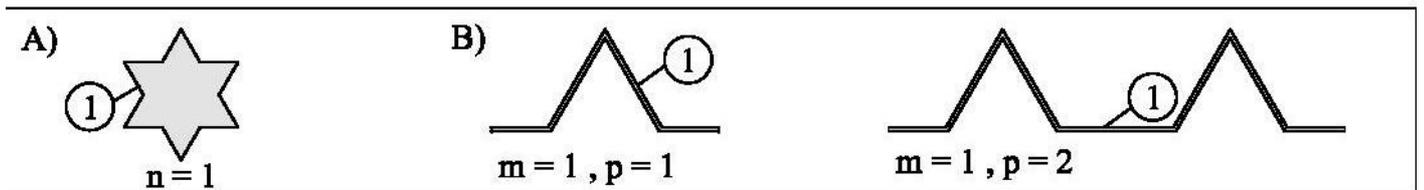


Fig. 3A

Fig. 3B

Fig. 3C

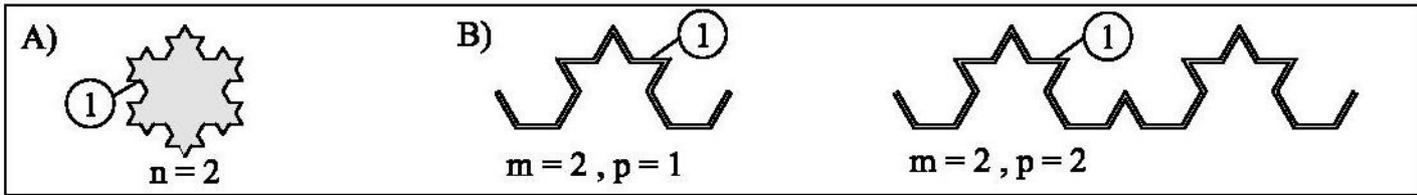


Fig. 4A

Fig. 4B

Fig. 4C

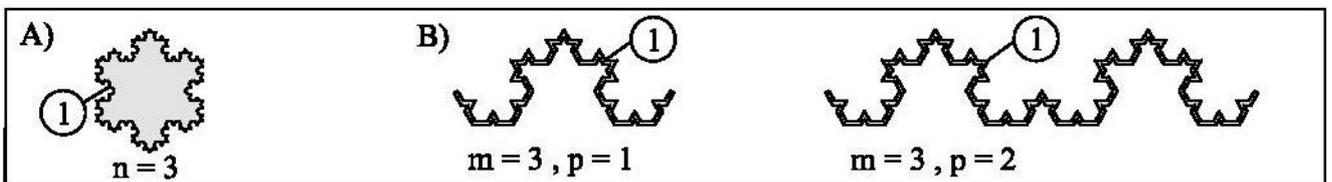


Fig. 5A

Fig. 5B

Fig. 5C

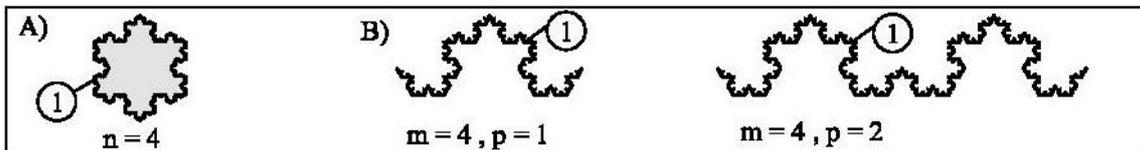


Fig. 6A

Fig. 6B

Fig. 6C

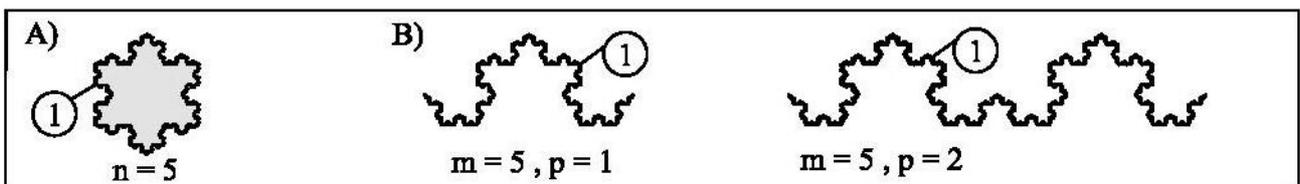


Fig. 7A

Fig. 7B

Fig. 7C

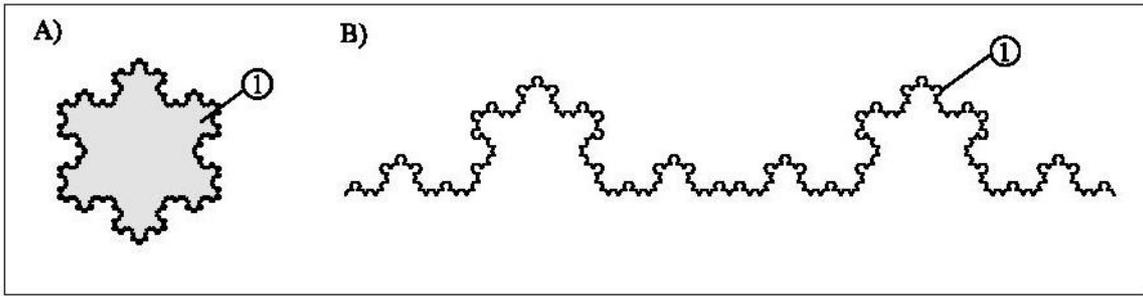


Fig. 8A

Fig. 8B

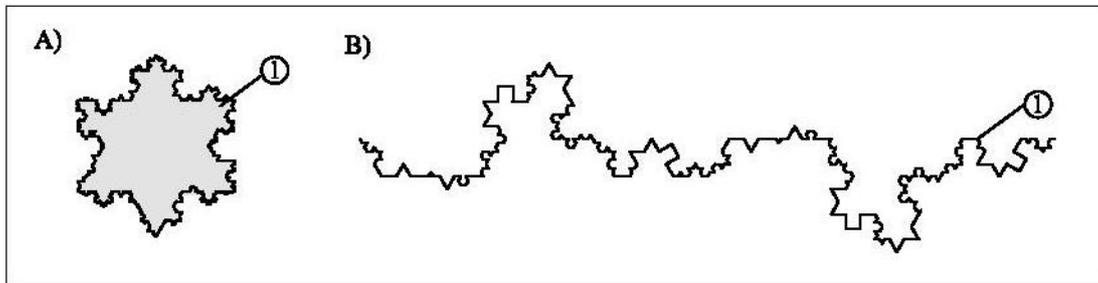


Fig. 9A

Fig. 9B

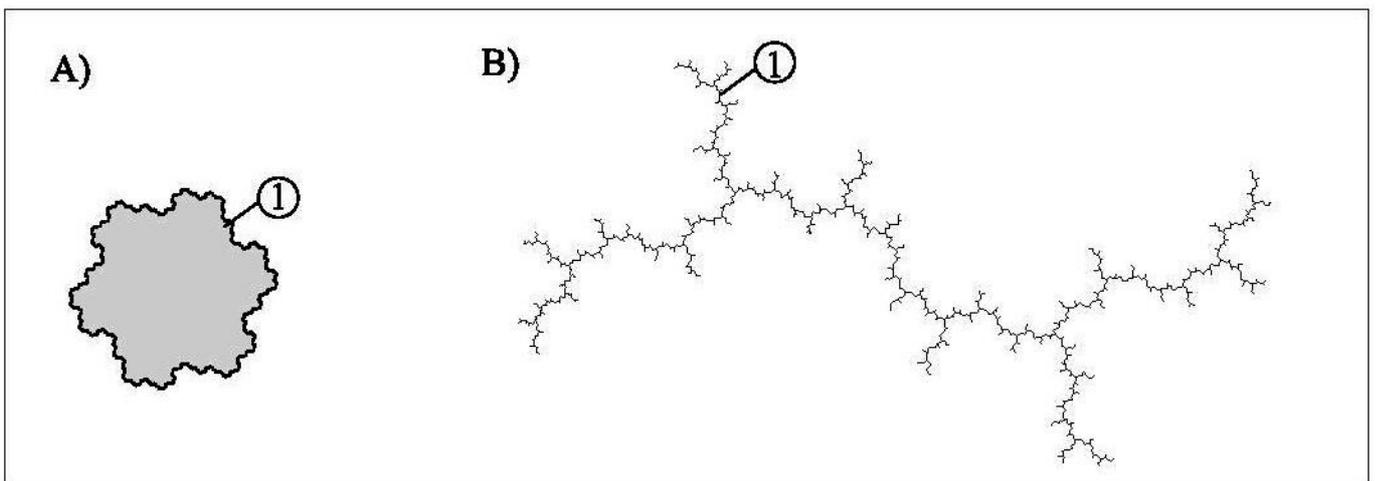


Fig. 10A

Fig. 10B

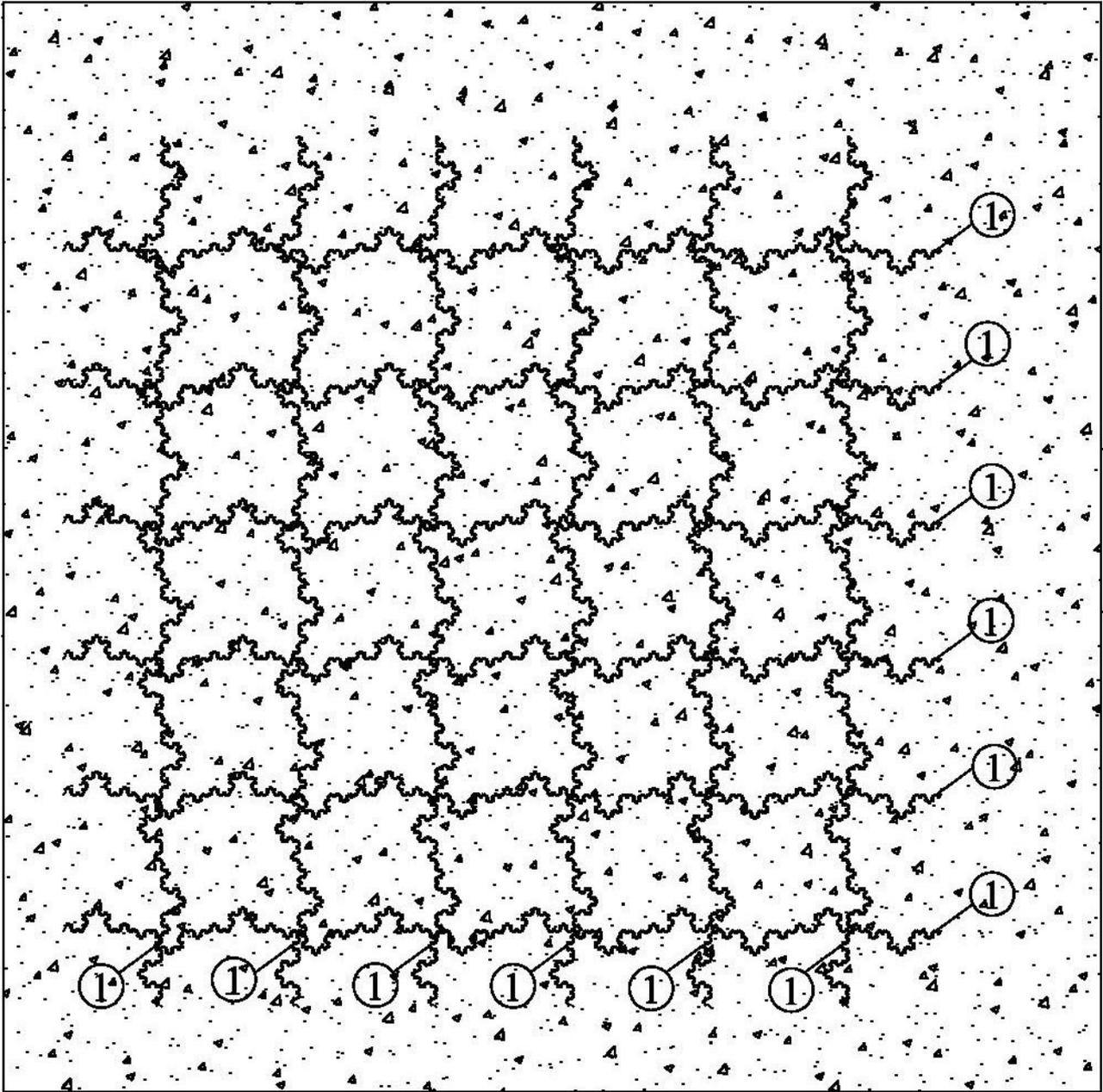


Fig. 11

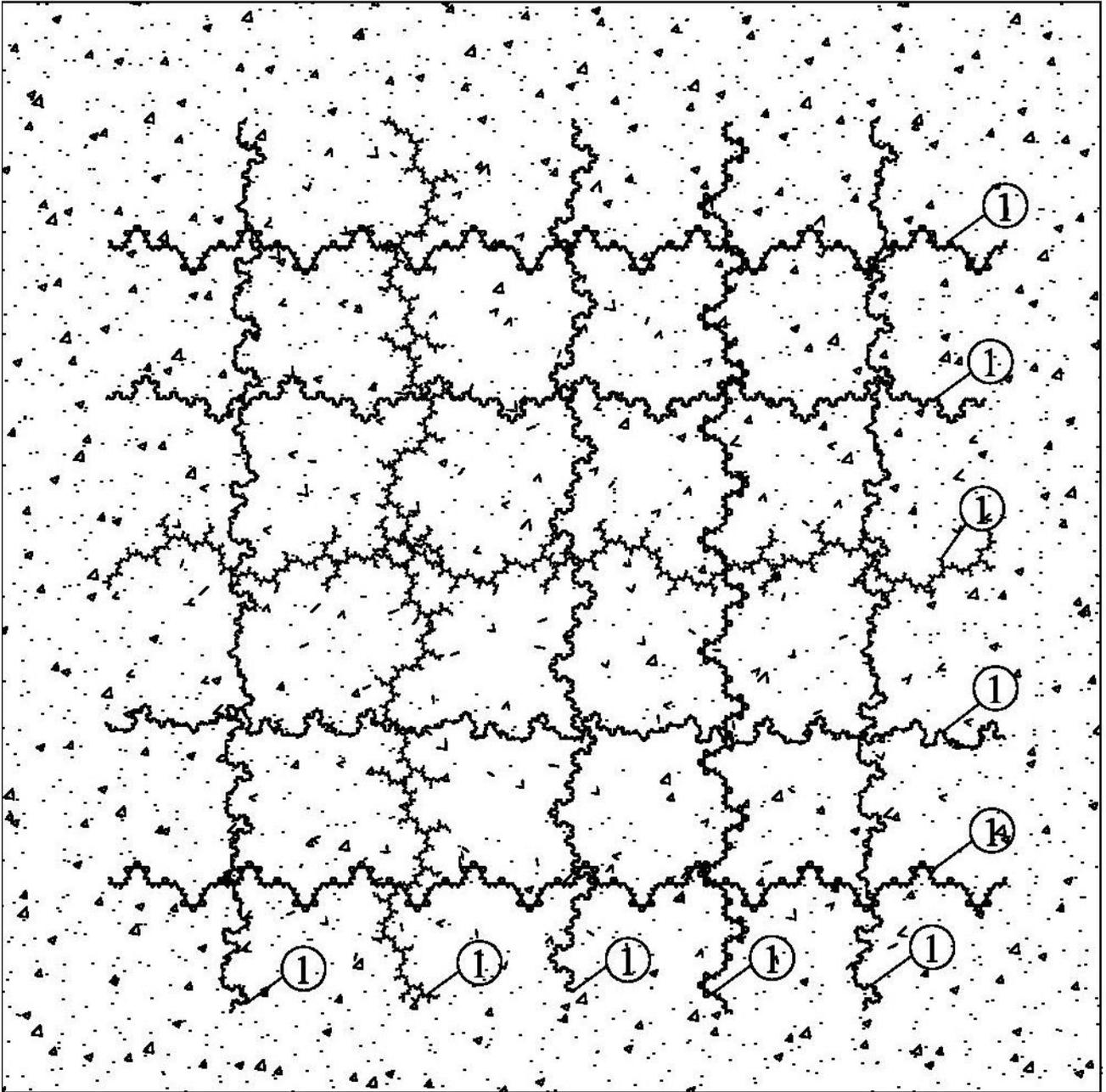


Fig. 12

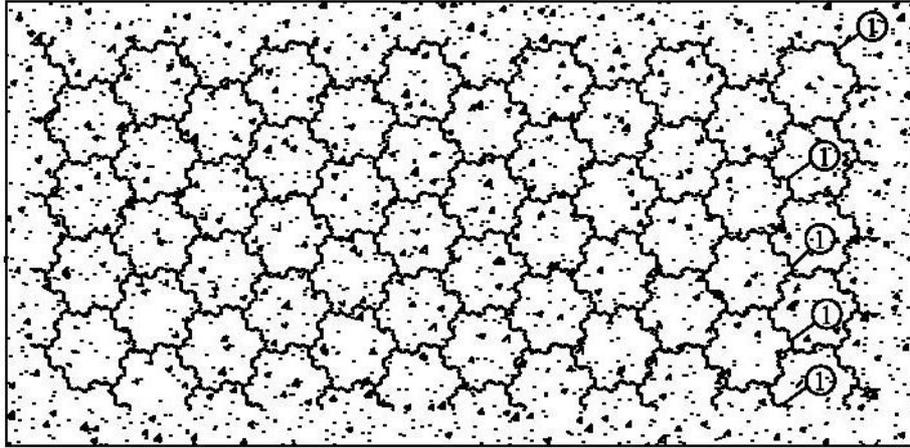


Fig. 13

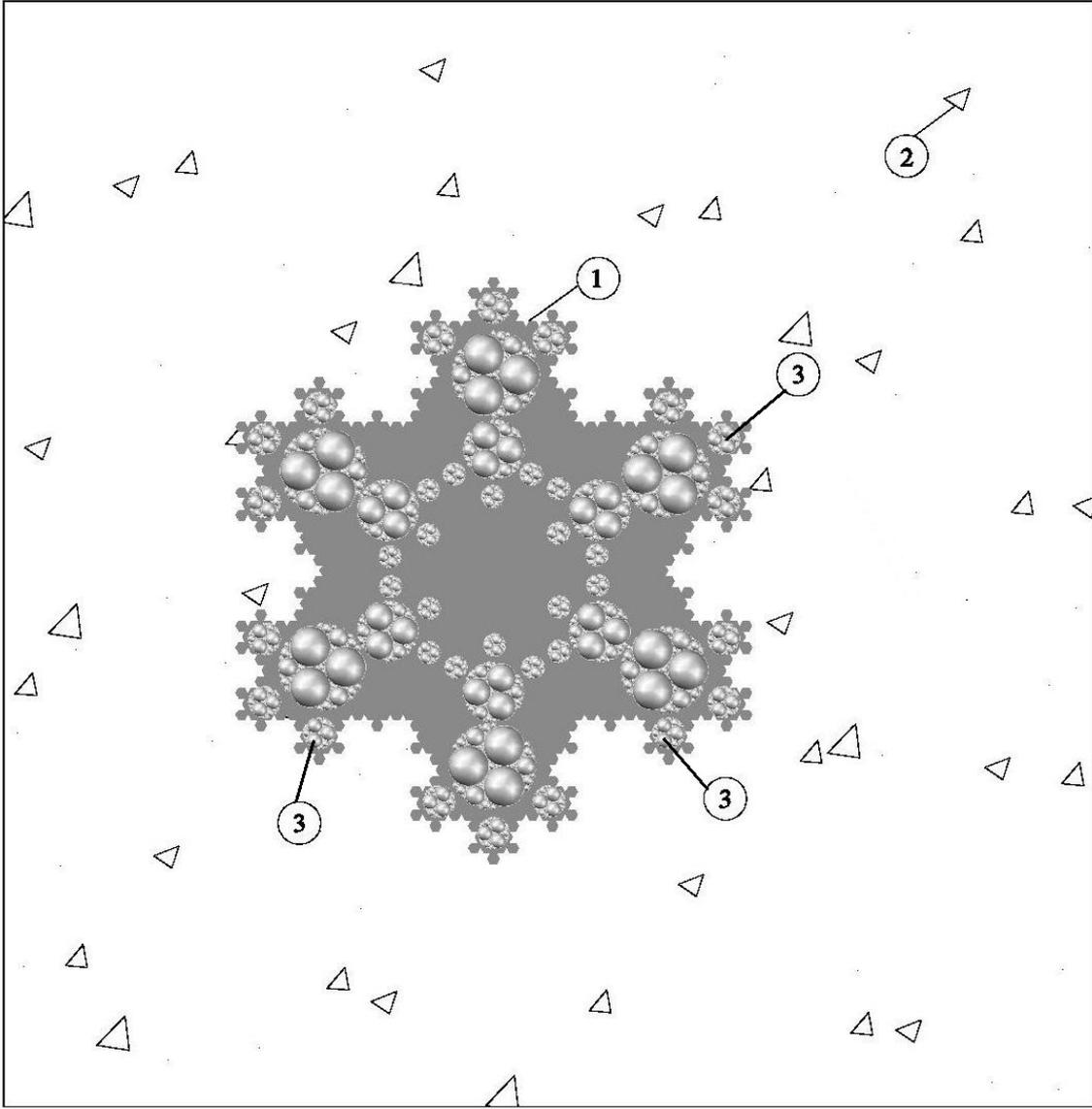


Fig. 14

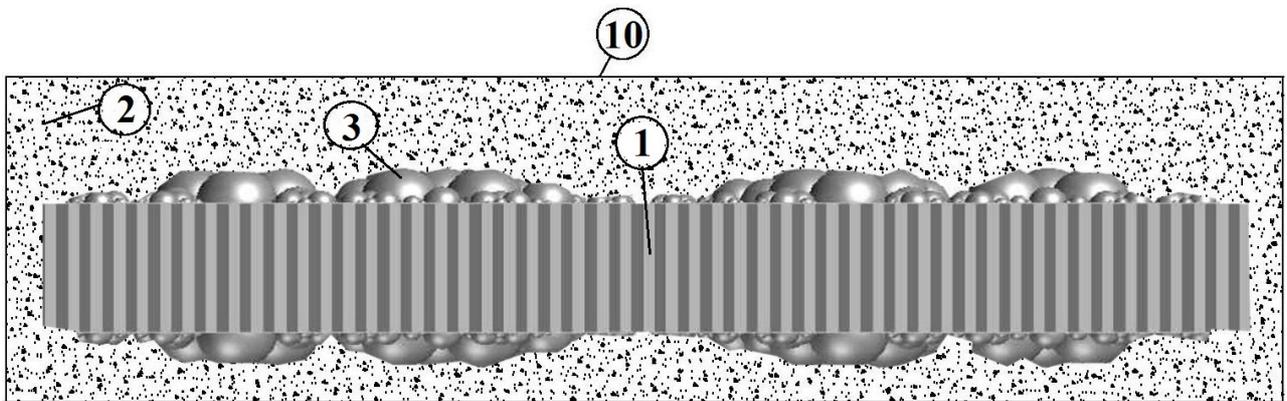


Fig. 15

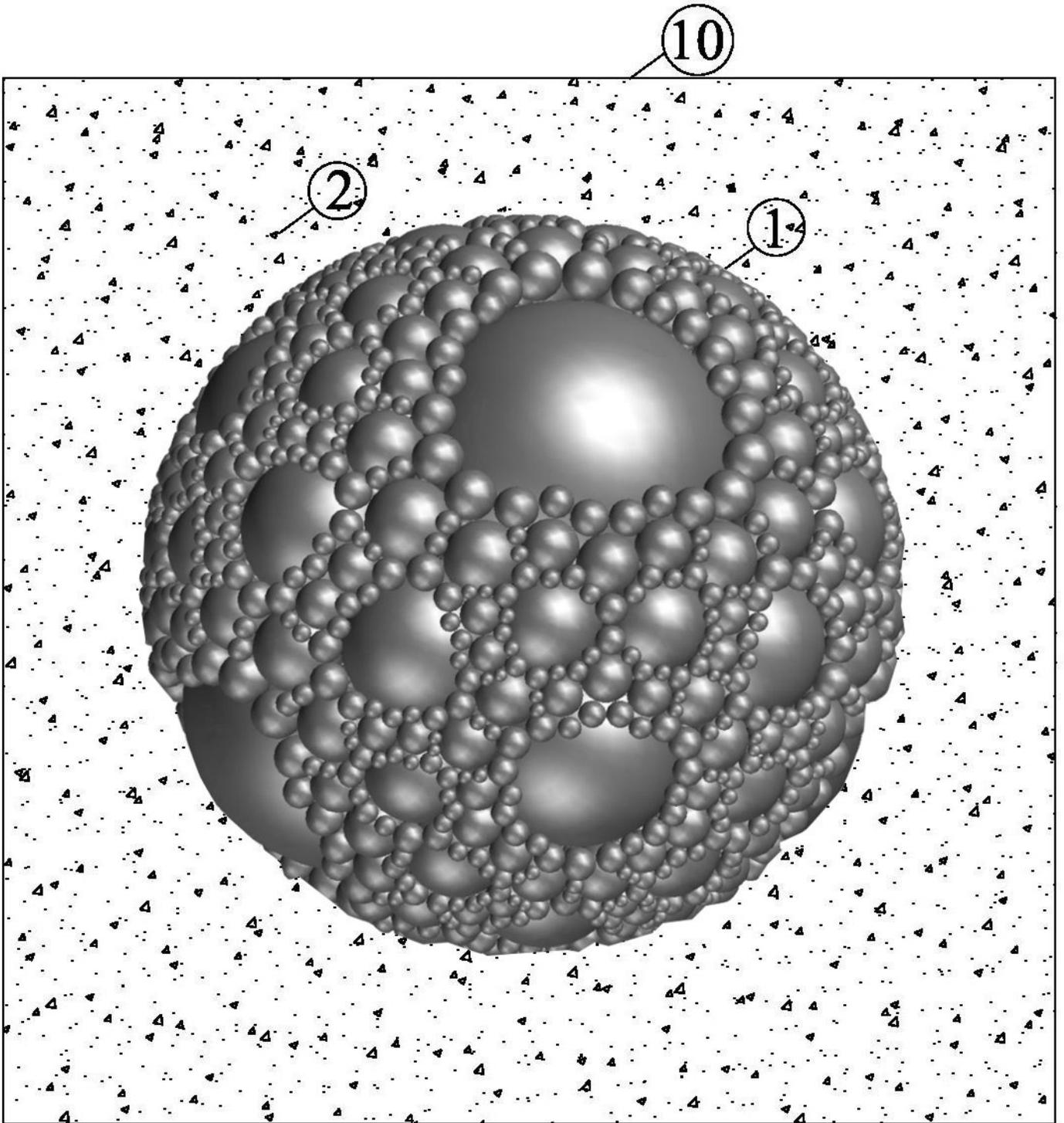


Fig. 16

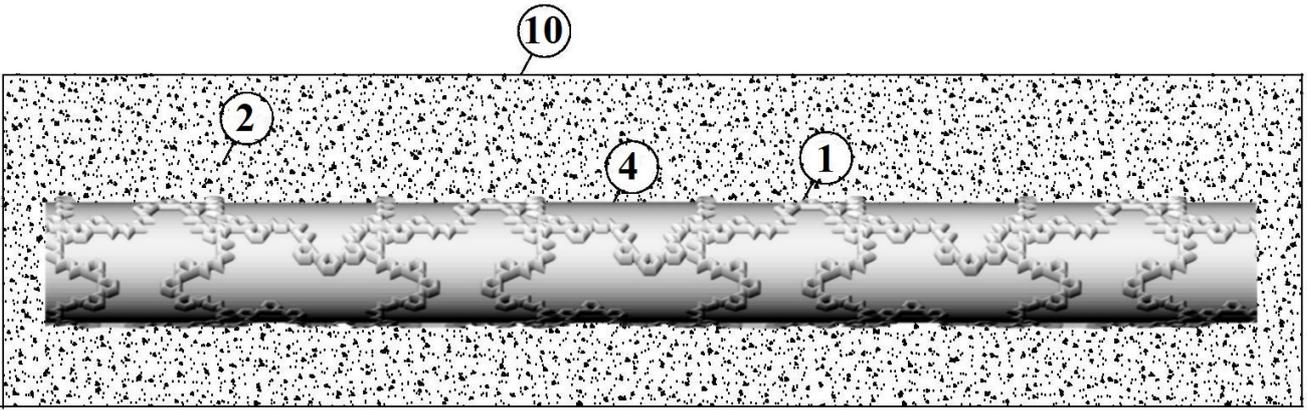


Fig. 17