



*Ministero dello Sviluppo Economico*

---

Ricevuta di presentazione

per

Brevetto per invenzione industriale



Domanda numero: 102015000044896

Data di presentazione: 17/08/2015

## DATI IDENTIFICATIVI DEL DEPOSITO

Ruolo	Mandatario
Data di compilazione	17/08/2015
Titolo	ELEMENTO STRUTTURALE A GEOMETRIA MULTISCALE
Carattere domanda	Ordinaria
Esenzione	NO
Accessibilità al pubblico	NO
Numero rivendicazioni	0
Autorità depositaria	

## RICHIEDENTE/I

Natura giuridica	Persona giuridica
Denominazione	Università Telematica Pegaso
Partita IVA	05411471211
Nazione sede legale	Italia
Tipo Società	le universita'

## DOMICILIO ELETTIVO

Cognome/R.sociale	IP Sextant S.r.l.
Indirizzo	via Antonio Salandra 18
CAP	00187
Comune	Roma
Telefono	06 - 42272334
Fax	06 - 42274000
Indirizzo Email	info@ipsextant.eu
Riferimento depositante	P1115IT00

## MANDATARI/RAPPRESENTANTI

## Cognome

Scilletta

Balzano

## Nome

Andrea

Francesca

## INVENTORI

## Cognome

FRATERNALI

FABBROCINO

FARINA

## Nome

FERNANDO

FRANCESCO

ILARIA

## Nazione residenza

Italia

Italia

Italia

## CLASSIFICAZIONI

## Sezione

B

## Classe

29

## Sottoclasse

C

## Gruppo

## Sottogruppo

## NUMERO DOMANDE COLLEGATE

## DOCUMENTAZIONE ALLEGATA

## Tipo documento

Descrizione in italiano\*

Copia Lettera di incarico multipla

Rivendicazioni in inglese

## Riserva

NO

NO

NO

## Documento

P1115IT00 - Descrizione.pdf.p7m

hash: 6a603d19581f55395f2b486415520b7f

P1115IT00 - PoA.pdf.p7m

hash: a2b72cda92b4fb43891b1116e801ed9f

P1115IT00-Rivendicazioni EN.pdf.p7m

hash: 1d7a3e57f3546f89742d2467b218b89e

Disegni	NO	P1115IT00 - Figure.pdf.p7m hash: 7eb805a983ce0f4758aba2e4f3628fdd
Rivendicazioni	NO	P1115IT00 - Rivendicazioni IT.pdf.p7m hash: 2809fb423835b70ad874a3abdde4f38e
Riassunto	NO	P1115IT00 - Riassunto.pdf.p7m hash: dec494d165352c43597177c41cfc5d11

RIASSUNTO

ELEMENTO STRUTTURALE A GEOMETRIA MULTISCALE

-----

La presente invenzione riguarda un elemento strutturale (1) multiscala configurato per essere utilizzato come rinforzo in un materiale composito (10), conformato in maniera tale da comprendere una pluralità di forme a diverse scale in cui almeno una di detta pluralità di forme è definita utilizzando un algoritmo frattale con almeno un parametro scalare di ricorsività. L'invenzione riguarda anche il relativo metodo di produzione di detto elemento strutturale.

## ELEMENTO STRUTTURALE A GEOMETRIA MULTISCALE

\* \* \*

La presente invenzione riguarda un elemento strutturale a geometria complessa multiscale ed il relativo metodo di produzione.

Più precisamente, la presente invenzione riguarda un elemento strutturale, in particolare configurato per essere utilizzato come elemento di rinforzo in un materiale composito, che presenta una sezione trasversale e/o un profilo longitudinale dotati di una forma geometrica complessa basata su uno o più algoritmi di tipo frattale. Ancora più precisamente, la presente invenzione riguarda un elemento strutturale comprendente inoltre anche elementi dotati di una struttura gerarchica, che preveda elementi di scala più fine innestati su elementi a scala più grande, quali, ad esempio, una particella formata dall'aggregazione di più particelle a scala più fine, ovvero fibre che inglobino al loro interno e/o sulla loro superficie esterna reticoli solidi a scala fine.

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.

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

Un secondo scopo della presente invenzione è quello di sviluppare elementi strutturali indipendenti a geometria complessa, che siano dotati di proprietà fisico-meccaniche non rinvenibili nei materiali ordinari.

Un ulteriore scopo della presente invenzione è quello di sviluppare tali elementi mediante un metodo che permetta la loro progettazione ottimale e la loro realizzazione rapida.

E' oggetto della presente invenzione un elemento strutturale che abbia una forma definita utilizzando almeno un algoritmo frattale con almeno un parametro scalare di ricorsività, opzionalmente comprendente inoltre una struttura gerarchica di tipo arbitrario, tale che l'elemento stesso sia formato dall'aggregazione di particelle e/o reticoli solidi a scala più fine rispetto a quella del corpo principale dell'elemento.

In particolare secondo l'invenzione, la forma di detto elemento 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 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 strutturale 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 presentare 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.

Ancora secondo l'invenzione l'elemento oggetto della presente invenzione può comprendere inoltre una struttura gerarchica di tipo generale, nella quale una particella, fibra, reticolo e/o filato sia ottenuto mediante l'assemblaggio di più particelle fibre reticoli e/o filati a scala più fine, che non abbiano necessariamente geometria frattale. Ad esempio, l'elemento strutturale secondo una forma di realizzazione non mostrata nelle figure, può comprendere una struttura presentante almeno una forma definita tramite un algoritmo frattale ed un reticolo micro-strutturato e/o macro-strutturato.

L'elaborazione della geometria dei suddetti reticoli, come sarà meglio spiegato nel seguito, è in particolare realizzata tramite software, ad esempio CAD di tipo commerciale.

In particolare secondo l'invenzione, detto elemento 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 strutturale e una matrice, detto materiale composito essendo caratterizzato dal fatto di comprendere almeno un elemento strutturale 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 strutturali disposti a rilievo su elementi strutturali a sagoma compatta.

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

La presente invenzione riguarda, come sarà descritto meglio in seguito, un metodo di produzione di un elemento strutturale ed in particolare un metodo di produzione di un materiale composito, comprendente l'utilizzo dell'elemento strutturale come materiale di rinforzo all'interno della matrice.

Vantaggiosamente, inoltre, la presente invenzione concerne la realizzazione di reticoli comprendenti la ripetizione, a diverse scale, di forme base configurate per formare elementi di rinforzo di materiali compositi tradizionali, ovvero anche metamateriali compositi di tipo innovativo.

Ancora secondo l'invenzione detto elemento a geometria frattale, ed opzionalmente gerarchica, può essere utilizzato come una particella, fibra, filato e/o un materiale cellulare a sé stante, venendo a mancare la suddetta fase d). I vantaggi tecnici di tali elementi, rispetto a quelli analoghi di tecnica nota, consistono in migliori proprietà di isolamento termico, a causa dell'effetto di diffusione di Knudsen, ovvero anche nella possibilità di realizzare metamateriali a struttura periodica multiscala, con proprietà meccaniche e/o fisiche non rinvenibili nel campo dei materiali ordinari, quali, ad esempio, elevatissimi rapporti rigidità/peso e resistenza/peso, nonché capacità non convenzionali di controllo e regolazione delle onde sonore e/o delle onde termiche.

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 strutturale 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 strutturale 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 strutturale 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 strutturale 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 strutturale 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 strutturale 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 strutturale 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 strutturale 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 strutturale 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 strutturale di rinforzo per materiali compositi;

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

la figura 12 mostra una vista laterale di un tessuto formato da una pluralità di elementi strutturale 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 strutturali 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 strutturale di rinforzo secondo

l'invenzione;

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

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

La presente invenzione riguarda un elemento strutturale a geometria complessa, in particolare un elemento strutturale 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 strutturali di rinforzo secondo l'invenzione presentano una struttura a geometria complessa, ottenuta mediante l'applicazione di algoritmi fondati sulla ripetizione, a diverse scale ossia a diversi ordini di grandezza dimensionale, 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.

Vantaggiosamente, i materiali compositi realizzati con fibre multiscala, ad esempio rivestite con nanotubi di carbonio presentano una maggiore resistenza al taglio interlaminare (ILSS) che è una proprietà fondamentale nella caratterizzazione dei materiali compositi e che può essere debole in presenza di una interfaccia liscia tra la fibra e la matrice.

Gli algoritmi che saranno descritti sono impiegati per generare il corpo e quindi la sezione longitudinale e/o trasversale di detti elementi strutturale.

A seconda del campo di applicazione, detti elementi possono consistere in fibre, avvolgimenti, tessuti e/o particelle strutturale, ovvero in elementi a se stanti.

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 strutturali, 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 strutturali 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, realizzando particelle, fibre e/o filati di tipo ibrido.

Nel caso in cui il trovato secondo la presente invenzione venga utilizzato non come elemento strutturale a se stante, ma come elemento strutturale di rinforzo di un materiale composito, la 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 strutturali possono essere scelte sulla base delle dimensioni della matrice, in modo da consentire una miscibilità ottimale tra detti elementi strutturali e detta matrice, ed in relazione al processo produttivo da impiegarsi.

Detti elementi strutturali 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 strutturali 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 dell'elemento strutturale secondo l'invenzione, determina vantaggiosamente un consistente aumento della superficie longitudinale di tale elemento, rispetto a sagome note di tipo compatto, facilitando significativamente l'adesione, o "grip", dell'elemento strutturale stesso alla matrice, e favorendo un evidente risparmio in termini economici e di quantità di materiale impiegato.

Gli elementi oggetto della presente invenzione possono anche essere realizzati come particelle, fibre, reticoli e/o filati a se stanti, da impiegarsi per una varietà di usi tecnici, sia di tipo ingegneristico (metamateriali cellulari), che di tipo tessile (fibre e filati di tipo innovativo).

Possibili forme di realizzazione della presente invenzione prevedono l'impiego di 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 strutturali 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 strutturale 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, ovvero sia di possedere uno sviluppo totale, denominato misura o dimensione di Hausdorff, superiore alla dimensione topologica.

Gli elementi strutturali 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 <sup>2</sup>	2.33 L	1.29
14.00 L		0.5773 L <sup>2</sup>	2.69 L	1.49
25.33 L		0.6415 L <sup>2</sup>	2.84 L	1.88
37.11 L		0.6700 L <sup>2</sup>	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 strutturali 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 strutturali secondo l'invenzione, rispetto a elementi rettilinei, 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 strutturali secondo l'invenzione possono essere ottenute mediante ulteriori algoritmi ricorsivi, sia di tipo deterministico che di tipo casuale, che realizzino elementi a struttura gerarchica.

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, 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 emisferici 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.

Tutte le realizzazioni della presente invenzione descritte nelle figure 1 e 11-17 possono prescindere dal materiale matrice 2, dando luogo a fibre, particelle, reticoli e/o filati a sé stanti.

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.

Possono essere impiegati anche processi produttivi in cui filamenti ottenuti per estrusione di materiali da riciclo vengano successivamente impiegati come materia prima per processi di prototipazione rapida a deposizione fusa ("Fused Deposition Modeling"), impiegando stampanti 3D del tipo a filamento fuso.

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, in materiale vergine o in materiale da riciclo.

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  $\mu\text{m}$  (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  $\mu\text{m}$ .

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 strutturale 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.

Il metodo di produzione per prototipazione rapida di un elemento strutturale a geometria multiscala secondo l'invenzione - nel caso di elementi a sé stanti, quali particelle, fibre, reticoli, filati e/o materiali cellulari a geometria complessa multiscala - 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; e
- c) stampaggio di detto elemento.

Nel caso in cui l'elemento strutturale descritto venga utilizzato come elemento di rinforzo in un materiale composito, il metodo di produzione di un materiale composito, comprende la produzione di un elemento strutturale come descritto in precedenza, e comprende inoltre una fase di:

- d) inserimento di detto elemento strutturale nella matrice del materiale

composito.

In aggiunta a quanto descritto sopra con riferimento al rivestimento presentante una geometria frattale, la presente invenzione è rivolta ad elementi a struttura gerarchica che presentino inoltre la ripetizione, di forme base a diverse scale. In particolare, tali forme base presentano una periodicità compresa nella macro-scala (da circa 1 cm ad 1 mm), nella piccola scala (circa 1 $\mu$ m) e nella nanoscala (circa 1 nm).

Vantaggiosamente, tali reticoli presentanti periodicità su differenti scale rispondono ad un ampio spettro di frequenze (ad esempio frequenze sonore dell'ordine dei kHz, MHz, GHz e THz) potendo quindi trovare applicazione in acustica, diagnostica medica e di telerilevamento o di controllo termico.

La presente invenzione si rivolge pertanto anche alla realizzazione di reticoli ad esempio comprendenti fibre lunghe e corte con ordine strutturale a diverse scale, tramite l'elaborazione della geometria desiderata del reticolo stesso con un software CAD ed il successivo invio dei dati elaborati ad una stampante 3D.

Verrà di seguito descritto un esempio di realizzazione di un reticolo strutturale rivestito secondo una forma di realizzazione della presente invenzione.

\*\*\*\*\*

Modelli su macro e su piccola scala, in particolare fibre e tessuti in materiale polimerico (77Polymeric) presentanti dimensioni massime che vanno da circa 5-50 mm (elementi "Short") fino a circa 200-500 mm (elementi "Long") sono stati fabbricati con una stampante Objet500 3D Connex 3D Stratasys, in generale presentante un intervallo di risoluzione di 20-85  $\mu$ m per fibre di dimensioni inferiori ai 50mm, e superiore ai 200  $\mu$ m per fibre di dimensioni maggiori. Nel caso particolare di un getto simultaneo di 2 materiali polimerici, questa stampante presenta una risoluzione di circa 0,1 mm su strati 16  $\mu$ m. Saranno utilizzati materiali con diversi coefficienti di dilatazione termica (CTE), come il RGD525 materiale ad alta temperatura (CTE approssimativamente pari a  $63.97 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ , fino alla temperatura di transizione vetrosa  $T_g$ ); ABS digitale (CTE pari a circa  $80.0 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$  fino a  $T_g$ ); o un materiale della linea Vero (CTE pari a circa  $73.32 \times 10^{-6}$

<sup>6</sup> °C-1 fino a Tg), al fine di creare uno stato di precompressione interno del reticolo (CTE dati gentilmente forniti da Stratasys®). Macro-scala e modelli metallici di piccole dimensioni di fibre multiscala saranno realizzati con il sistema EOSINT M 270.

I reticoli dell'ordine della microscala verranno prodotti attraverso un sistema multimateriale che si basa su una tecnica di micro-stereolitografia (PμSL) con risoluzione laterale di circa 5 μm; risoluzione verticale pari a circa 10 μm; superficie che va da 5 × 5 mm<sup>2</sup> a circa 20 × 20 mm<sup>2</sup> e che opera con una velocità di circa 10 s / strato. L'area di costruzione può essere estesa con processo ripetitivo tramite una connessione laterale tra più strati realizzati spostando la piattaforma di costruzione (o l'ottica). Elementi di compressione e trazione dei reticoli verranno prodotti ad esempio attraverso polimeri foto-curabili. L'elemento di compressione può essere ad esempio realizzato di poli (glicole etilenico) diacrilato (PEGDA) o di esandiolo diacrilato (HDDA), e l'elemento di trazione può essere ad esempio realizzato di PEGDA con diversa densità di reticolazione o di poli (N-isopropilacrilammide) (PNIPAAm). Gli elementi di trazione saranno realizzati in materiale che presenta un rigonfiamento durante la produzione, in modo che, una volta essiccato, si contrarrà, creando una precompressione del reticolo. Vantaggiosamente pertanto, il suddetto sistema PμSL consente la produzione di reticoli dell'ordine della microscala con caratteristiche di precompressione del reticolo stesso.

\*\*\*\*\*

Vantaggiosamente pertanto, l'elemento strutturale secondo la presente invenzione presenta una ripetizione, a diverse scale, di forme base comprendente almeno una struttura frattale ed opzionalmente una struttura gerarchica conformata per implementare le caratteristiche strutturali di interfaccia tra l'elemento strutturale di rinforzo e la matrice stessa del materiale composito. Preferibilmente inoltre, l'elemento strutturale di rinforzo secondo la presente invenzione comprende reticoli, a diverse scale, per ottenere materiali compositi con proprietà strutturali di interfaccia migliorate e con una maggiore resistenza al

taglio interlaminare.

Sempre secondo l'invenzione gli elementi a geometria complessa oggetto della presente invenzione possono costituire particelle, fibre, filati e/o materiali cellulari a se stanti, che abbiano proprietà fisico-meccaniche non rinvenibili nei materiali di tecnica nota.

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.

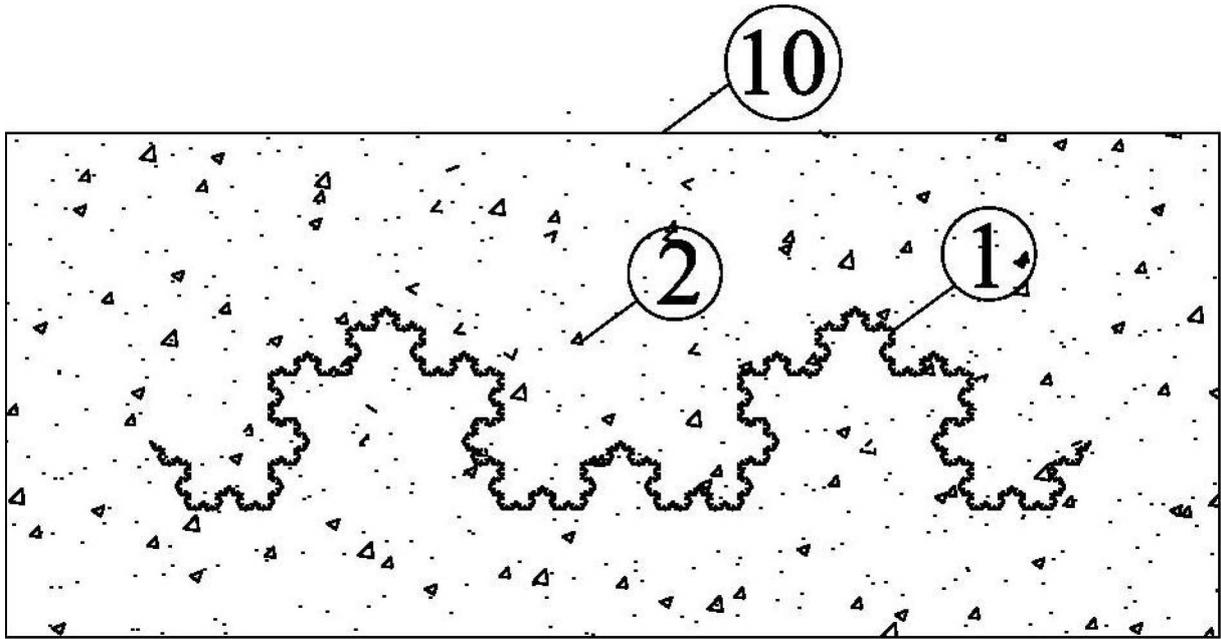


Fig. 1

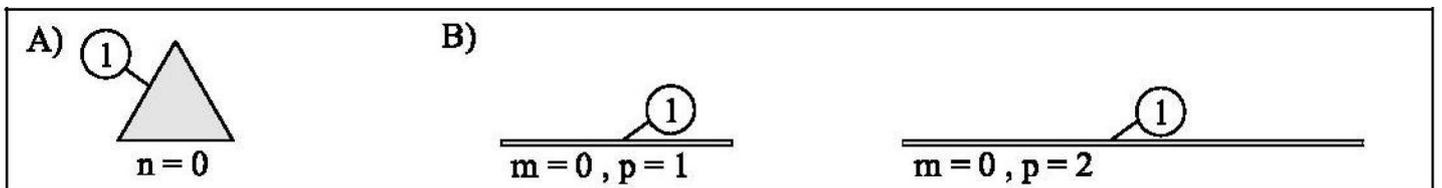


Fig. 2A

Fig. 2B

Fig. 2C

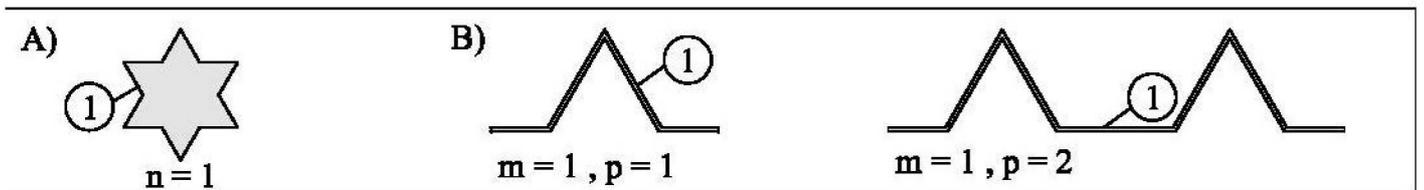


Fig. 3A

Fig. 3B

Fig. 3C

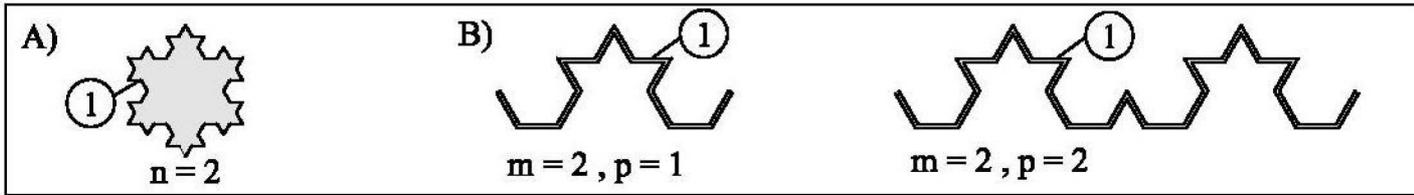


Fig. 4A

Fig. 4B

Fig. 4C

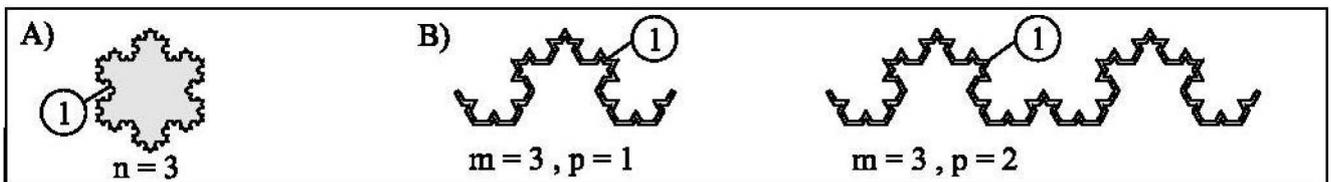


Fig. 5A

Fig. 5B

Fig. 5C

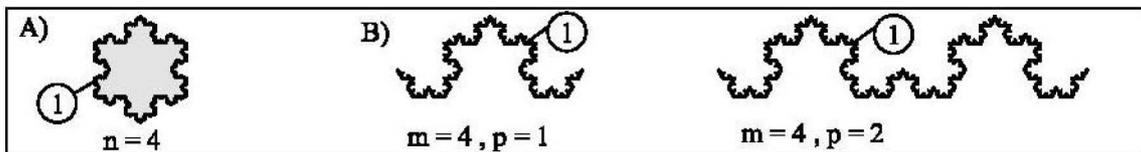


Fig. 6A

Fig. 6B

Fig. 6C

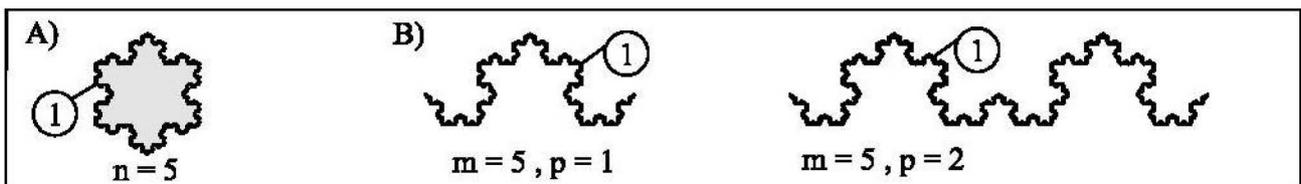


Fig. 7A

Fig. 7B

Fig. 7C

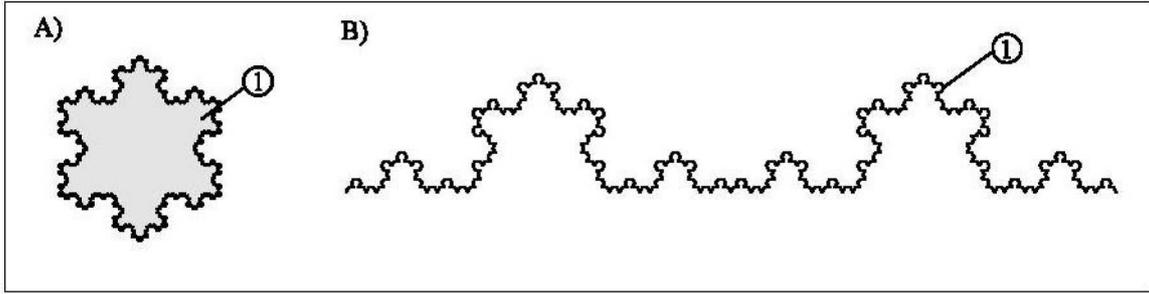


Fig. 8A

Fig. 8B

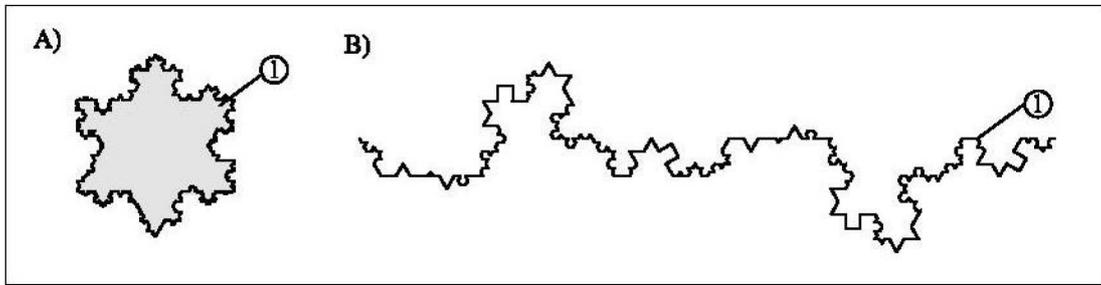


Fig. 9A

Fig. 9B

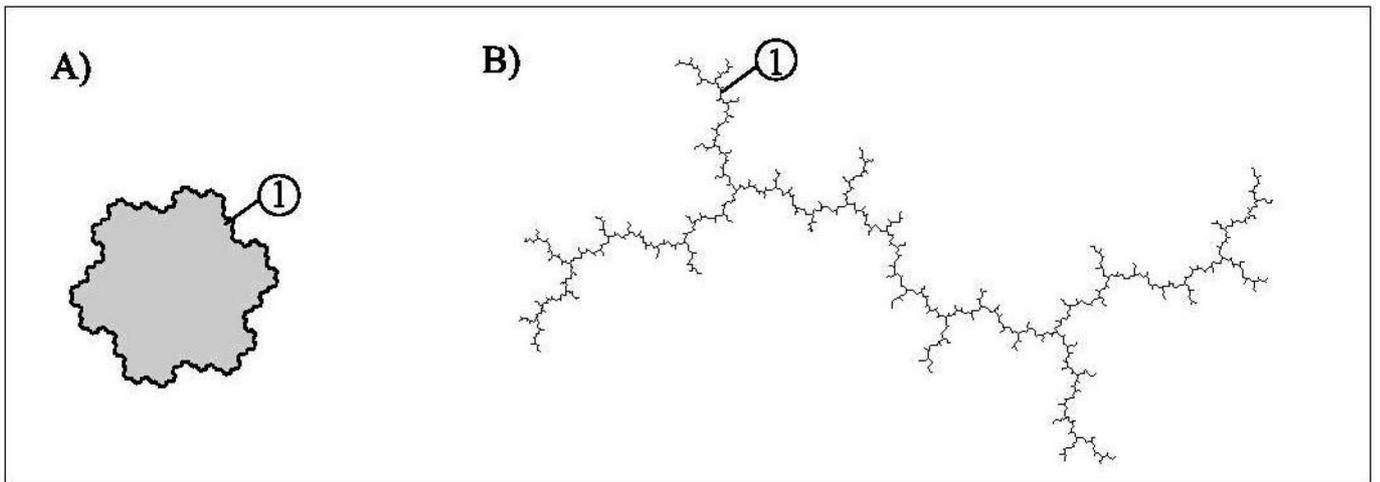


Fig. 10A

Fig. 10B

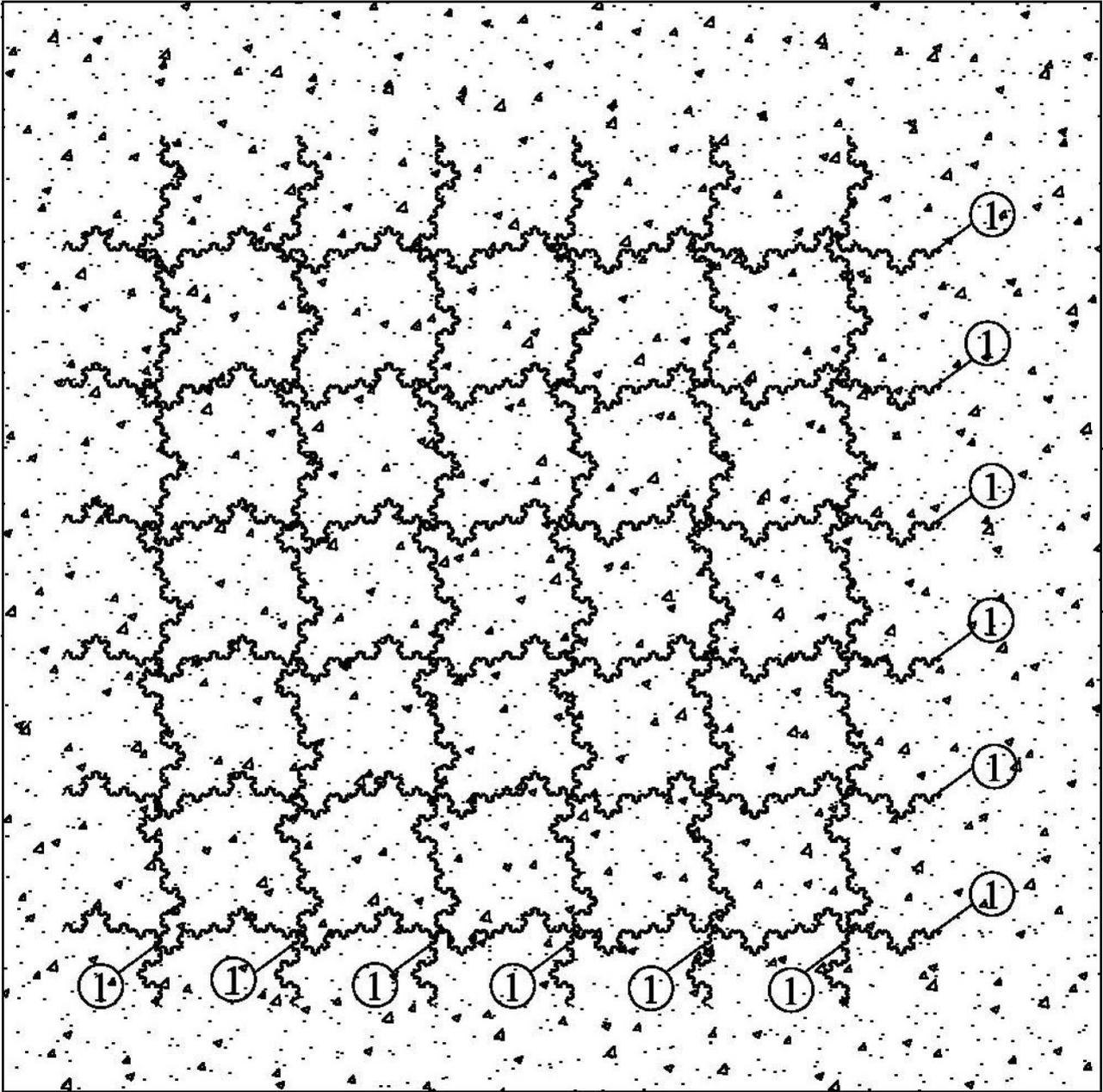


Fig. 11

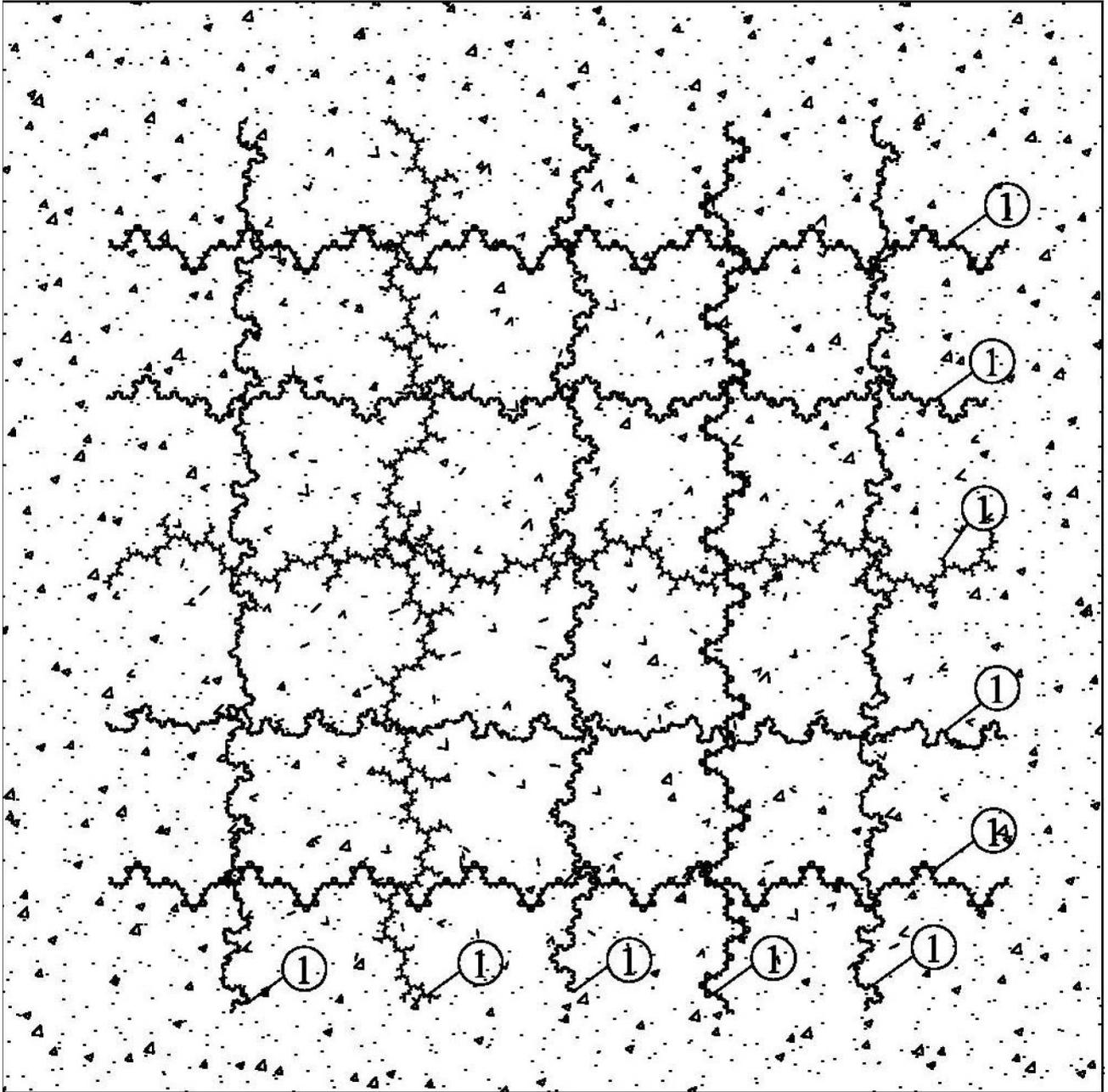
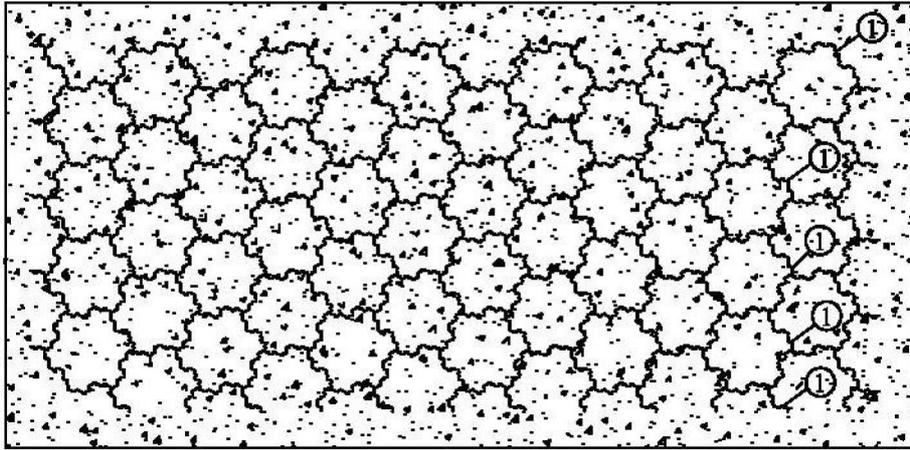


Fig. 12



**Fig. 13**

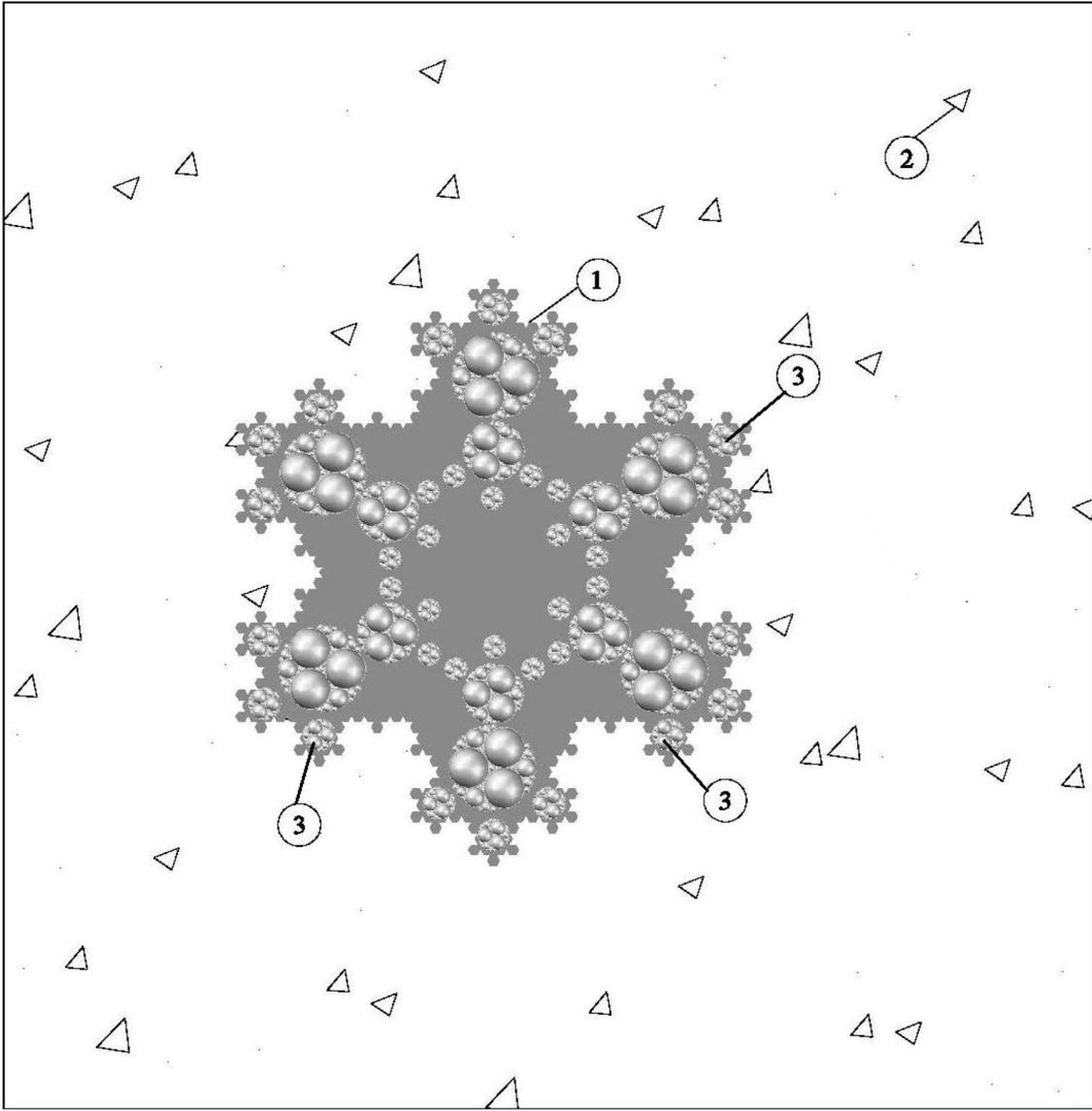


Fig. 14

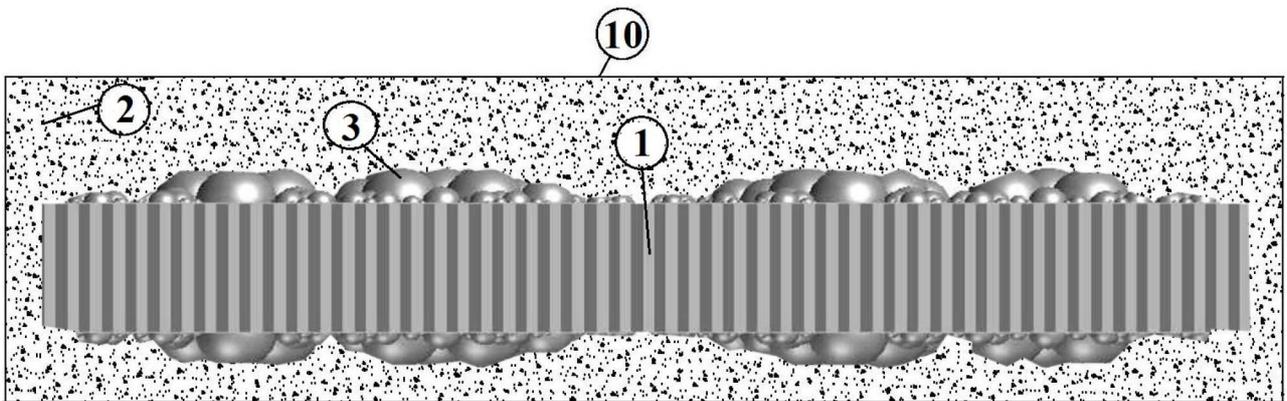


Fig. 15

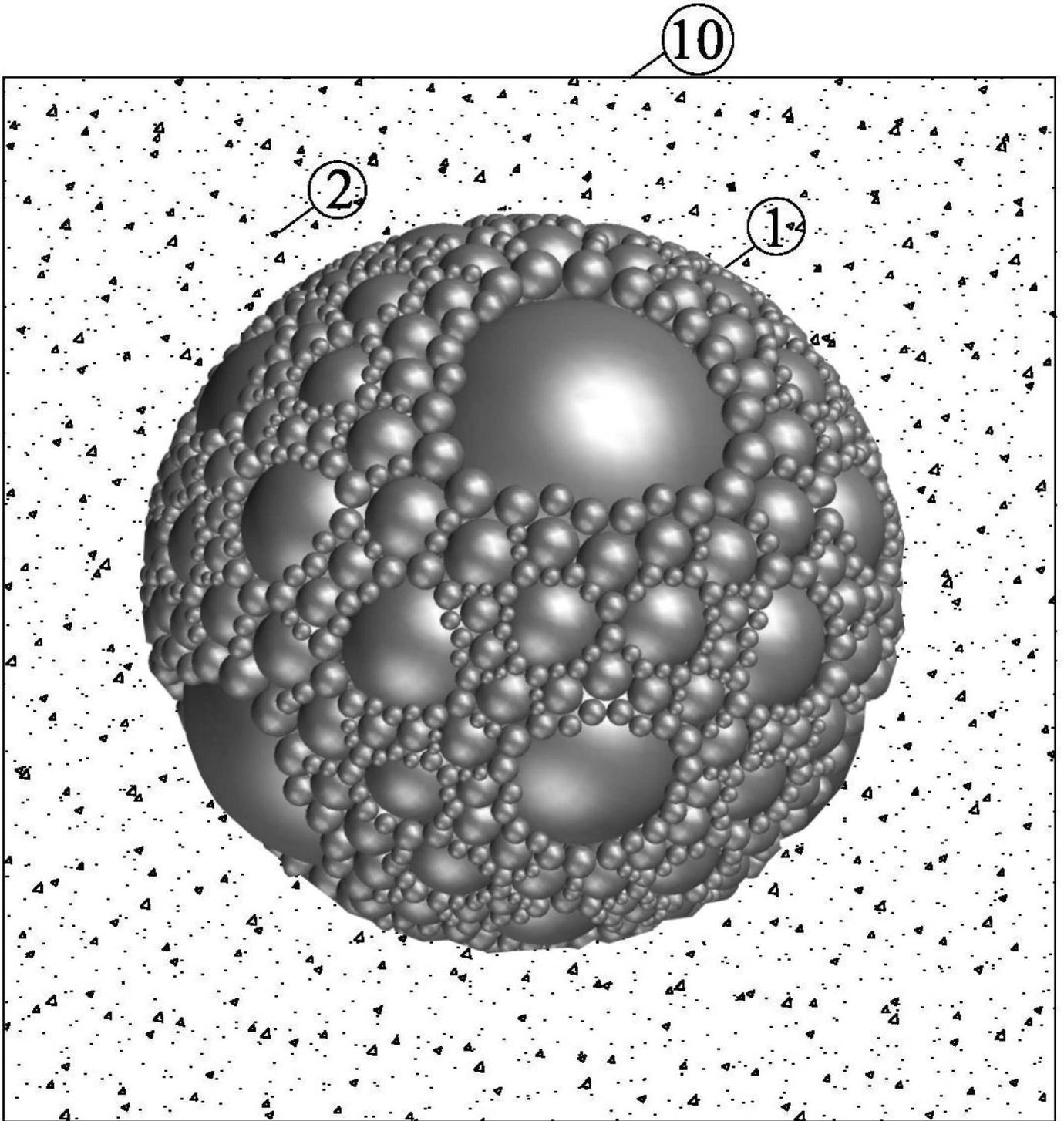
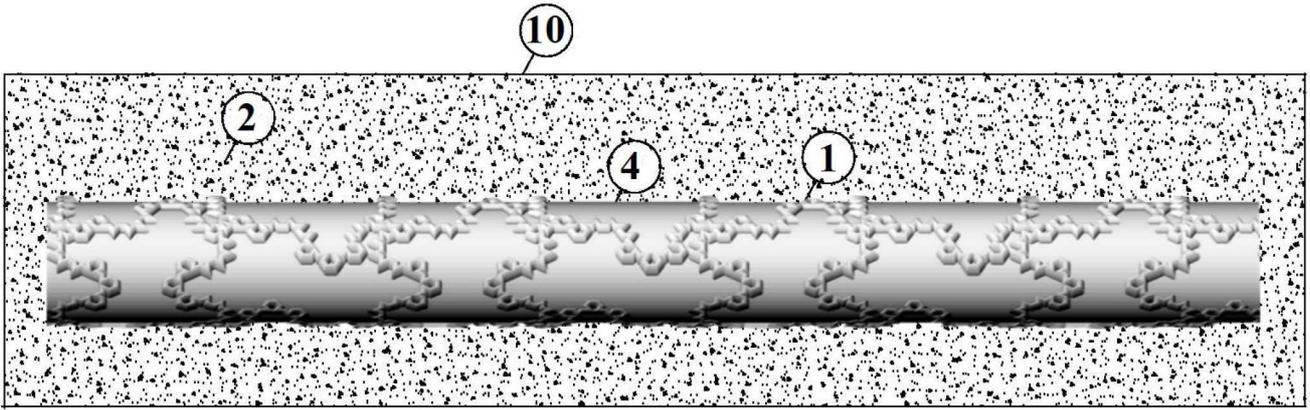


Fig. 16



**Fig. 17**

## RIVENDICAZIONI

1. Elemento strutturale (1) multiscala configurato per essere utilizzato come rinforzo in un materiale composito (10), conformato in maniera tale da comprendere una pluralità di forme a diverse scale dimensionali in cui almeno una di detta pluralità di forme è definita utilizzando un algoritmo frattale con almeno un parametro scalare di ricorsività.
2. Elemento strutturale (1) secondo la rivendicazione precedente, comprendente inoltre un reticolo macro-strutturato.
3. Elemento strutturale (1) secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, comprendente inoltre un reticolo micro-strutturato, opzionalmente presentante caratteristiche di precompressione del reticolo stesso.
4. Elemento strutturale (1) secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, caratterizzato dal fatto che almeno una di detta pluralità di forme a diverse scale è definita utilizzando 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  $p$ .
5. Elemento strutturale (1) secondo la rivendicazione precedente, caratterizzato dal fatto che la sezione trasversale di detto elemento strutturale (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 strutturale (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  $p$ .
6. Elemento strutturale (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.

7. Elemento strutturale (1) secondo una qualsiasi delle rivendicazioni 5 o 6, 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.

8. Elemento strutturale (1) secondo una qualsiasi delle rivendicazioni dalla 5 alla 7, caratterizzato dal fatto che detto terzo parametro  $p$  definisce il grado di ripetizione del profilo longitudinale definito da detto secondo parametro  $m$ .

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

10. Elemento strutturale (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.

11. Elemento strutturale (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.

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

13. Materiale composito (10) comprendente un elemento strutturale (1) e una matrice (2), detto materiale composito (10) essendo caratterizzato dal fatto di comprendere almeno un elemento strutturale (1) di rinforzo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni dalla 1 alla 12.

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

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

16. Materiale composito secondo una qualsiasi delle rivendicazioni dalla 13 alla 15, caratterizzato dal fatto che detta matrice è una miscela cementizia, polimerica, ceramica o metallica.

17. Metodo di produzione di un elemento strutturale (1) secondo una qualsiasi delle rivendicazioni dalla 1 alla 12, detto metodo comprendendo le seguenti fasi di:

a) elaborazione di una geometria di detto elemento strutturale con un software CAD;

b) invio dati ad una stampante 3D; e

c) stampaggio di detto elemento.

18. Metodo secondo la rivendicazione precedente, in cui detta fase di elaborazione di una geometria di detto elemento strutturale prevede la definizione di una forma utilizzando un algoritmo frattale.

19. Metodo secondo la rivendicazione precedente, in cui detta fase di elaborazione di una geometria di detto elemento strutturale prevede inoltre la definizione di un reticolo macro-strutturato e/o di un reticolo micro-strutturato.

20. Metodo di produzione di un materiale composito (10), comprendente la produzione di un elemento strutturale (1) secondo una qualsiasi delle rivendicazioni dalla 17 alla 19, detto metodo comprendendo inoltre una fase di:

d) inserimento di detto elemento strutturale (1) di rinforzo nella matrice del materiale composito.

## CLAIMS

1. Multiscale structural element (1) configured to be used as a reinforcing filler in a composite material (10), shaped to comprise a plurality of shapes having different scale dimensions wherein at least one of said plurality of shapes is defined by means of a fractal algorithm with at least one scalar recursive parameter.
2. Structural element (1) according to the preceding claim, further comprising a macro-structured lattice.
3. Structural element (1) according to any one of the preceding claims, further comprising a micro-structured lattice, optionally having pre-compression characteristics.
4. Structural element (1) according to any one of the preceding claims, characterized in that at least one of said plurality of shapes having different scale dimensions is defined by means of a fractal algorithm with at least three scalar recursive parameters, in particular a first scalar recursive parameter  $n$ , a second scalar recursive parameter  $m$  and a third scalar recursive parameter  $p$ .
5. Structural element (1) according to the preceding claim, characterized in that the cross section of said structural element (1) has a perimeter constructed with said at least one fractal algorithm by varying only said first scalar recursive parameter  $n$ , while the longitudinal profile of said structural element (1) has a shape built by said at least one fractal algorithm by varying said second scalar recursive parameter  $m$  and said third scalar recursive parameter  $p$ .
6. Structural element (1) according to the preceding claim, characterized in that when said first parameter  $n$  is equal to 0, said perimeter of said cross-section has a basic geometric shape, or when said first parameter  $n$  is an integer greater than 0, said perimeter of said cross section has a complex geometric shape obtained by repetition of said basic geometric shape according to said at least one algorithm fractal.
7. Structural element (1) according to any one of claims 5 or 6, characterized in that when said second parameter  $m$  is equal to 0 said longitudinal profile has a rectilinear shape, or

when said second parameter  $m$  is equal to 1, said longitudinal profile has a basic geometric shape, or

when said second parameter  $m$  is an integer greater than 1, said longitudinal profile has a complex geometric shape obtained by repetition of said basic geometric shape according to said at least one fractal algorithm.

8. Structural element (1) according to any one of claims 5 to 7, characterized in that said third parameter  $p$  defines the repetition degree of the longitudinal profile defined by said second parameter  $m$ .

9. Structural element (1) according to any one of the preceding claims, characterized in that said at least one fractal algorithm is based on the Koch curve.

10. Structural element (1) according to any one of the preceding claims, characterized in that said at least one fractal algorithm is based on the Dendrite Julia curve or Gosper Island curve or on the Apollonian gasket in two or three dimensions.

11. Structural element (1) according to any one of the preceding claims, characterized in that it is made of polymeric material, metal, or natural or from recycling of waste solids or a combination of the above materials.

12. Structural element (1) according to any one of the preceding claims, characterized in that it is a fiber, a particle, or a tissue.

13. Composite material (10) comprising a structural element (1) and a matrix (2), said composite material (10) being characterized in that it comprises at least one structural element (1) according to any of claims 1 to 12, as a reinforcing filler.

14. Composite material according to the preceding claim, characterized in that it comprises a plurality of structural elements (1) as a reinforcing filler in a net arrangement.

15. Composite material according to claim 13, characterized in that it comprises a plurality of windings of said structural elements (1) arranged in relief on compact shape reinforcing elements (4).

16. A composite material according to any one of claims 13 to 15, character-

ized in that said matrix is a mixture of cement, polymer, ceramic or metal.

17. Method for producing a structural element (1) according to any one of claims 1 to 12, said method comprising the following steps of:

- a) processing a geometry of the structural element with a CAD software;
- b) sending data to a 3D printer; and
- c) printing of said element.

18. Method according to the preceding claim, wherein said step of processing a geometry of said structural element comprises the definition of a shape by means of a fractal algorithm.

19. Method according to the preceding claim, wherein said step of processing a geometry of said structural element also comprises the definition of a macro-structured lattice and / or of a micro-structured lattice.

20. Method for producing a composite material (10), comprising the production of a structural element (1) according to any one of claims 17 to 19, said method further comprising a step of:

- d) insertion of said structural element (1) as reinforcing filler in the matrix of the composite material.