



MINISTERO DELLO SVILUPPO ECONOMICO
DIREZIONE GENERALE PER LA LOTTA ALLA CONTRAFFAZIONE
UFFICIO ITALIANO BREVETTI E MARCHI

DOMANDA DI INVENZIONE NUMERO	102015000073191
Data Deposito	17/11/2015
Data Pubblicazione	17/05/2017

Classifiche IPC

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
B	29	C	70	38

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
B	29	C	70	16

Titolo

Apparecchiatura e metodo per la stampa tridimensionale di materiali compositi a fibra continua

DESCRIZIONE

Annessa a domanda di brevetto per INVENZIONE INDUSTRIALE avente per titolo

“Apparecchiatura e metodo per la stampa tridimensionale di materiali compositi a fibra continua”

A nome: POLITECNICO DI MILANO

Piazza Leonardo da Vinci 31

MILANO - ITALIA

Mandatari: D.ssa Cristina BIGGI, Albo iscr. nr.1239 B, Ing. Dario ALDE, Albo iscr. nr.1338 B, Ing. Marco BELLASIO, Albo iscr. nr.1088 B, D.ssa Michela ERRICO, Albo iscr. nr.1520 B, Ing. Simona INCHINGALO, Albo iscr. nr.1341 B, Ing. Giancarlo PENZA, Albo iscr. nr.1335 B, D.ssa Elena ROSSETTI, Albo iscr. nr.1124B, Elio Fabrizio TANSINI, Albo iscr. nr.697 BM, Ing. Luigi TARABBIA, Albo iscr. nr.1005 BM, Dott. Bartolomeo TIRLONI, Albo iscr. nr.1207 B, Ing. Lucia VITTORANGELI, Albo iscr. nr.983 BM, Ing. Umberto ZERMANI, Albo iscr. nr.1518 B

La presente invenzione ha per oggetto un'apparecchiatura ed un metodo per la stampa tridimensionale di materiali compositi a fibra continua.

Come noto, la stampa tridimensionale o stampa 3D, è un processo che consente di creare oggetti sulla base di modelli digitalizzati con opportuni software di modellazione.

5 Tra le apparecchiature di stampa 3D, sono ampiamente diffuse e maggiormente utilizzate le stampanti 3D ad estrusione, che realizzano l'oggetto da stampare mediante estrusione di specifici materiali, generalmente materiali polimerici termoplastici e termoindurenti, metallici e
10 ceramici.

Tali apparecchiature si basano sull'estrusione di materiale che passa dallo stato liquido a quello solido. Ad esempio, per la stampa 3D mediante

materiali termoplastici, il polimero viene estruso allo stato fuso e successivamente, raffreddandosi, si solidifica dando la forma finale dell'oggetto.

La realizzazione dell'oggetto avviene mediante movimentazione della
5 testa di estrusione e/o del piatto di supporto dell'oggetto da stampare, per permettere la deposizione di strati di materiale che si sovrappongono l'uno sull'altro andando a creare la forma desiderata.

Per permettere tale movimentazione, e quindi per consentire la deposizione del materiale secondo un percorso predefinito (determinato
10 dal modello digitalizzato) vengono generalmente utilizzati sistemi di movimentazione meccanica a tre assi della testa di estrusione.

Sono altresì note apparecchiature di stampa tridimensionale in grado di realizzare, sempre mediante stampa ad estrusione, oggetti con materiali compositi costituiti da una matrice polimerica e da cariche metalliche o
15 ceramiche. Tuttavia, queste ultime si trovano in forma particellare o di fibre corte che vengono disperse nella matrice prima del processo di stampa.

Di conseguenza, tali apparecchiature sono limitate nell'uso di materiale composito in quanto non sono utilizzabili per estrarre materiale composito a fibra continua, vale a dire dotato di una fibra lunga che viene
20 deposta nella fase di estrusione.

A tale proposito va specificato che la stampa 3D di materiale composito a fibra continua presenta numerosi vantaggi, per lo più derivati dalla possibilità di realizzare qualsiasi forma 3D, utilizzando resine anche termoindurenti, ottimizzando l'orientazione delle fibre, quindi
25 massimizzando le prestazioni dell'oggetto stampato, non necessariamente utilizzando supporti per le parti cave e/o a sbalzo.

Infatti, ad esempio nel caso di stampa 3D di oggetti rinforzati con fibre lunghe o corte, l'impiego di matrici termoplastiche comporta delle intrinseche limitazioni nelle prestazioni meccaniche e di durabilità degli
30 oggetti stessi.

Per la realizzazione di oggetti che prevedono porzioni interne cave, la stampa con materiale composito tradizionale (a fibra corta) prevede necessariamente l'utilizzo di supporti che definiscono la cavità della forma e sui quali viene depositato il materiale estruso. Tale supporto, una volta
5 ultimata la stampa dell'oggetto, viene eliminato.

Generalmente, il materiale composito a fibra lunga viene utilizzato per realizzare porzioni cave, o tratti distanziati dalla base di appoggio, grazie alla capacità portante della fibra stessa e quindi evitando l'utilizzo dei citati supporti.

10 Per permettere la stampa di materiale a fibra continua, vengono utilizzate apparecchiature, quali ad esempio quelle descritte nella domanda di brevetto US2014/0061974, che presentano un sistema di alimentazione in continuo di una fibra lunga, atto a convogliare la fibra in corrispondenza della testa di estrusione.

15 In particolare, in tale soluzione la testa di estrusione presenta un ingresso laterale (rispetto alla direzione di avanzamento del materiale) della fibra, la quale viene fatta fuoriuscire dall'apertura di estrusione insieme alla rispettiva matrice polimerica.

Il materiale viene quindi realizzato direttamente nella testa di estrusione
20 accoppiando la fibra con la matrice durante l'estrusione del materiale composito.

Inoltre, in questa soluzione l'estrusione della matrice determina un flusso di uscita della matrice stessa che, accoppiandosi alla fibra, convoglia la fibra al di fuori della testa di estrusione.

25 In altre parole, la fibra viene alimentata per effetto dell'avanzamento della matrice (allo stato liquido) che presenta opportuna viscosità in grado di aderire e convogliare la fibra al di fuori della testa di stampa.

Anche questa soluzione, seppur in grado di stampare un materiale composito a fibra continua, con matrici termoindurenti, presenta tuttavia
30 un importante inconveniente.

In primo luogo, va considerato che la fase di accoppiamento della fibra con la matrice non assicura la corretta distribuzione della matrice liquida lungo tutto lo sviluppo della fibra continua.

5 Tale inconveniente è derivato proprio dal fatto che la fibra viene alimentata contemporaneamente alla matrice solo in fase di estrusione. Di conseguenza, il contatto tra fibra e matrice non sempre risulta essere sufficiente ad una corretta impregnazione della fibra.

Tale inconveniente risulta essere ancor più rilevante con l'utilizzo di fibre continue ottenute da filati molto compatti tra loro e che quindi ostacolano
10 l'impregnazione interna della fibra. In questo caso, la matrice si deposita solo sulla superficie esterna della fibra dando origine ad un materiale composito non omogeneo nella propria struttura finale.

In aggiunta, anche il materiale della matrice (resina polimerica), rende
15 difficoltosa la corretta impregnazione della fibra. Infatti, come sopra descritto, la resina deve in questo caso avere necessariamente una viscosità particolarmente elevata per essere estrusa.

Di conseguenza, risulta essere ancora più difficile la corretta impregnazione della fibra con resine aventi alta viscosità e che quindi presentano maggiore difficoltà di penetrare tra i filamenti della fibra.

20 Per contro, l'utilizzo di una resina meno viscosa e quindi in grado di impregnare maggiormente la fibra, comporterebbe l'importante svantaggio nelle operazioni di trazione della fibra. In questa situazione, la fibra non verrebbe tirata dalla resina che avendo una viscosità molto bassa non sarebbe in grado di aderire alla fibra stessa.

25 In questo contesto, il compito tecnico alla base della presente invenzione è proporre una apparecchiatura ed un metodo per la stampa tridimensionale di materiali compositi a fibra continua che superi gli inconvenienti della tecnica nota sopra citati.

In particolare, è scopo della presente invenzione mettere a disposizione
30 un dispositivo e relativo metodo di stampa tridimensionale che sia in grado di stampare utilizzando materiali compositi a fibra continua, con i

conseguenti vantaggi derivati proprio dall'uso di una fibra lunga, e di resine termoindurenti.

In particolare, è uno scopo della presente invenzione mettere a disposizione un dispositivo e relativo metodo di stampa tridimensionale con materiali compositi a fibra continua, che sia in grado di realizzare correttamente il materiale composito, impregnando in maniera uniforme la fibra con la rispettiva matrice.

Ancor più in particolare, è scopo della presente invenzione mettere a disposizione un dispositivo e relativo metodo per la stampa tridimensionale di materiali compositi a fibra continua, che sia versatile e quindi utilizzabile con qualsiasi tipologia di fibra e matrice, senza comprometterne le caratteristiche strutturali del materiale stesso.

Ulteriore scopo della presente invenzione è proporre una apparecchiatura e metodo per la stampa tridimensionale con materiali compositi a fibra continua che sia versatile e semplice sia dal punto di vista strutturale che di costi di realizzazione.

Il compito tecnico precisato e gli scopi specificati sono sostanzialmente raggiunti da una apparecchiatura e metodo per la stampa di materiale composito a fibra continua, comprendente le caratteristiche tecniche esposte in una o più delle unite rivendicazioni.

In particolare la presente invenzione prevede una apparecchiatura per la stampa tridimensionale di materiali compositi a fibra continua, che presenta una testa di alimentazione di un materiale composto a fibra continua configurata per realizzare la stampa di un oggetto tridimensionale. Sono altresì previsti mezzi di movimentazione relativa tra la testa di alimentazione e l'oggetto tridimensionale per esercitare una trazione del materiale composto a fibra continua e quindi per alimentare il materiale al di fuori della testa. Il materiale composto viene realizzato in una stazione di realizzazione disposta a monte della testa di alimentazione.

Analogamente, la presente invenzione prevede anche un metodo per la stampa tridimensionale di materiali compositi a fibra continua, in cui il materiale viene realizzato annegando una fibra continua in una resina. Successivamente il materiale composto così formato viene alimentato
5 dalla testa di stampa per realizzare la stampa dell'oggetto tridimensionale. Tale alimentazione viene attuata esercitando una trazione del materiale composto mediante movimentazione relativa tra la testa di alimentazione del materiale stesso e l'oggetto tridimensionale.

Ulteriori caratteristiche e vantaggi della presente invenzione appariranno
10 maggiormente chiari dalla descrizione indicativa, e pertanto non limitativa, di una forma di realizzazione preferita ma non esclusiva di una apparecchiatura e metodo per la stampa tridimensionale di materiale composito a fibra continua, come illustrato negli uniti disegni in cui:

- la figura 1 è una vista schematica prospettica di una apparecchiatura per
15 la stampa tridimensionale di materiale composito a fibra continua secondo una possibile forma realizzativa della presente invenzione;

- la figura 1a è una vista prospettica ed ingrandita di un dettaglio costruttivo di figura 1; e

- la figura 2 è una vista schematica prospettica di una apparecchiatura per
20 la stampa tridimensionale di materiale composito a fibra continua secondo una ulteriore forma realizzativa della presente invenzione.

Con riferimento alle figure allegate, con 1 è stata complessivamente indicata una apparecchiatura per la stampa tridimensionale di materiali compositi a fibra continua 3.

25 In particolare, la presente invenzione si presta alla stampa di un materiale composto 2 costituito da almeno due fasi: almeno una fibra continua 3 (o fibra lunga), che ha il compito di sorreggere i carichi; la matrice, che tiene unite le fibre 3 tra loro, proteggendole dall'ambiente esterno; ed eventualmente altri additivi e rinforzi.

30 Con riferimento alla figura 1, possono essere processate più fibre 3, opportunamente unite tra di loro in fase di realizzazione del materiale

composto 2 a costituire un corpo unico. Le fibre 3 possono essere inoltre costituite da differenti materiali, quali ad esempio, fibra di vetro, di carbonio, di kevlar, di basalto, fibre naturali ecc...

Preferibilmente, le fibre 3 che devono essere alimentate in continuo, sono raccolte su un elemento 4, quale un rocchetto 5 cilindrico attorno al quale è avvolta la fibra 3 stessa. Vantaggiosamente, durante le fasi di stampa il rocchetto 5 viene svolto per l'alimentazione continua della fibra 3. Come illustrato in figura 1, nel caso di una pluralità di fibre 3 differenti tra di loro, viene predisposto un rocchetto 5 per ciascuna fibra.

10 Per quanto riguarda la matrice, viene utilizzata una resina 6 allo stato liquido, in particolare una resina 6 termoindurente ad esempio epossidica, acrilica, poliestere ecc., reticolabile attraverso l'impiego di differenti stimoli apportati al sistema (radiazione luminosa, energia termica, stimoli chimici quali il contatto tra componenti reattivi ecc...).

15 In particolare, l'apparecchiatura 1 comprende una stazione 7 di realizzazione del materiale composto 2.

La stazione 7 è disposta a monte di una testa di alimentazione 8 del materiale composto 2 atta a realizzare la stampa di un oggetto tridimensionale 10 come meglio verrà chiarito nel seguito della presente
20 trattazione.

In maggiore dettaglio, la stazione 7 di realizzazione del materiale composto 2 presenta almeno un bacino 9 di contenimento della citata resina 6 all'interno del quale almeno una fibra 3 viene annegata.

Vantaggiosamente, la fibra 3 alimentata in continuo che viene svolta dal
25 rispettivo rocchetto 5, viene fatta passare all'interno del bacino 9. In questa situazione la fibra 3 risulta essere completamente annegata all'interno della resina 6.

Il passaggio della fibra 3 nella resina 6 assicura pertanto la corretta impregnazione della fibra 3 garantendo una distribuzione omogenea della
30 resina 6 sulla rispettiva fibra 3. A tale proposito va specificato che in funzione della viscosità della resina 6 e della struttura della fibra 3, può

essere predeterminato un tempo più o meno lungo di stazionamento della fibra 3 nel bacino 9.

Vantaggiosamente, per resine 6 particolarmente viscoso e/o per fibre 3 costituite da filamenti molto compatti tra di loro, viene previsto un
5 passaggio prolungato all'interno del bacino 9 per assicurare la corretta impregnazione (omogenea) della fibra 3 con la resina 6.

A questo proposito, possono essere inoltre previsti una pluralità di bacini 9, disposti in serie per attuare un passaggio ripetuto della fibra 3 all'interno di ciascun bacino 9 contenente la resina 6, e/o resine anche chimicamente
10 differenti, utili ad esempio all'attivazione chimica tramite l'impiego di sistemi bicomponenti. Anche questa soluzione, non illustrata nelle unite figure, è volta ad una maggiore ed omogenea impregnazione della fibra 3 con la resina 6, così come alla implementazione della versatilità di produzione di compositi a matrici diverse e ottimizzate.

15 Con riferimento alle unite figure, la stazione di realizzazione 7 del materiale composto comprende una linea di avanzamento 11 della fibra continua 3, atta a guidare la fibra 3 stessa dal citato elemento di raccolta 4, attraverso il bacino 9, e verso la testa di alimentazione 8.

In particolare, in accordo con la prima soluzione realizzativa di figura 1, la
20 linea di avanzamento 11 è composta da una pluralità di rulli di rinvio 12, montati folli, o motorizzati, in funzione della complessità della linea di alimentazione della fibra.

Va specificato che, numero e disposizione dei rulli 12 può essere
25 qualsivoglia in funzione dello sviluppo della linea 11 ed in funzione della lunghezza e del percorso che deve compiere la fibra 3 durante il proprio avanzamento.

Nella soluzione esemplificativa, e pertanto non limitativa di figura 1, vengono previsti tre rulli 12, disposti rispettivamente tra gli elementi di
30 raccolta 4 ed il bacino 9, all'interno del bacino 9, e tra il bacino 9 e la testa di alimentazione 8.

In particolare, il primo rullo 12 disposto a monte del bacino 9 direziona correttamente la fibra 3 all'interno del bacino 9 stesso. Il secondo rullo 12 disposto nel bacino 9 è atto a mantenere la fibra 3 annegata nella resina 6 durante l'avanzamento della fibra 3 stessa.

- 5 Mentre il terzo rullo a valle del bacino 9 direziona il materiale composto 2 formato nel bacino 9, verso la testa di alimentazione 8.

Ancora, si noti che in questa soluzione, il bacino 9 risulta essere distaccato dalla testa di alimentazione 8. Tale bacino 9, che in figura 1 è illustrato aperto per mostrare la resina 6 contenuta in esso, è
10 preferibilmente schermato da qualsiasi fonte di disturbo della attivazione della resina 6, e/o degradazione della resina stessa (ad esempio radiazione luminosa, calore, umidità, ossigeno...).

Tale schermatura, di tipo noto e pertanto non descritta nel dettaglio, è necessaria in quanto la resina 6, ad esempio, nel caso in cui si tratti di un
15 fotopolimero è in grado di polimerizzare, compiendo un passaggio da stato liquido a solido grazie all'azione della luce.

In accordo con una seconda soluzione realizzativa mostrata in figura 2, il bacino di contenimento 9 della resina è costituito da una tramoggia 13 dotata di una prima estremità aperta 13a di ingresso della fibra 3 continua,
20 ed una seconda estremità aperta 13b (parzialmente visibile in figura 2) opposta alla prima estremità 13a, per l'uscita del materiale composto 2.

In questa situazione, la linea di avanzamento 11 può non presentare rulli di rinvio in quanto la fibra 3, può essere direttamente alimentata all'interno della prima estremità aperta 13a della tramoggia 13 contenente la resina
25 6.

Ancora, nella presente soluzione realizzativa la seconda estremità aperta 13b definisce la citata testa di alimentazione 8 del materiale composto 2.

In altre parole, la testa di alimentazione 8 è di fatto costituita dalla seconda estremità 13b della tramoggia 13 dalla quale viene fatto fuoriuscire il
30 materiale composto 2 realizzato all'interno della tramoggia 13 stessa.

In particolare, la testa di alimentazione 8 comprende un ugello 14 di uscita

del materiale composto 2, che nella soluzione realizzativa di figura 2 è costituito dalla seconda estremità 13b della tramoggia 13.

L'ugello 14 presenta una sezione di passaggio del materiale composto 2 che è dimensionata in funzione della sezione della fibra 3. Infatti, la fibra 3
5 deve presentare dimensioni in sezione trasversale identiche alla sezione di passaggio dell'ugello 14 per evitare che la resina 6 in eccesso possa colare dall'ugello 14 o che gocce di resina 6 si formino sulla fibra 3 andando di fatto a costituire un'imperfezione nel manufatto finale.

La testa 8, comprende inoltre un organo di polimerizzazione 15 disposto in
10 corrispondenza dell'ugello 14 per polimerizzare il materiale in uscita dal citato ugello 14 e definire il materiale composito.

L'organo di polimerizzazione 15 può essere di diversa tipologia, in funzione della resina 6 e delle rispettive caratteristiche di reticolazione.

In accordo con una prima soluzione realizzativa, l'organo di
15 polimerizzazione 15 può essere di tipo a radiazione elettromagnetica.

In questo caso, l'organo 15 può essere costituito ad esempio da almeno un LED a luce UV, o un emettitore laser (figura 1a), o qualsiasi altra sorgente di radiazioni elettromagnetiche posizionata sulla testa di alimentazione 8 e direzionato in una zona di uscita del materiale 2
20 dall'ugello 14.

In una seconda forma realizzativa, l'organo di polimerizzazione 15 può essere costituito da una fonte di emissione termica, predisposta a scaldare il materiale 2 in uscita dall'ugello 14. Questa tipologia di organi di polimerizzazione 15 viene utilizzata nel caso di resine termo-attivabili, e
25 generalmente si basano sull'erogazione di un flusso di aria calda o una sorgente laser.

In accordo con una ulteriore soluzione realizzativa, l'organo di polimerizzazione 15 può essere costituito inoltre da un attivatore di tipo chimico che, a contatto con la resina 6 reagisce polimerizzando la resina 6
30 stessa. In particolare, in questo caso la resina 6 risulta essere una resina bicomponente in quanto vengono uniti i due componenti della resina 6 per

attuare la citata reazione.

Vantaggiosamente, la fase di reazione chimica può essere attuata a monte della testa di alimentazione 8 attraverso il passaggio della fibra in una serie di vasche contenenti rispettivi componenti che a contatto tra loro
5 attivano la reazione di polimerizzazione. In questo caso, la fase di reticolazione della resina 6 perdura durante l'estrusione del materiale 2 dalla testa 8 e viene ultimato una volta deposto a formare l'oggetto 10.

In alternativa, la sostanza chimica di attivazione della polimerizzazione può essere spruzzata sulla fibra lungo la citata linea di avanzamento 11.

10 Ancora, l'organo di polimerizzazione 15 può essere di tipo combinato e quindi attuare differenti fasi di reticolazione della resina.

Ad esempio, la fase di polimerizzazione può essere costituita da una prima fase di tipo a radiazione elettromagnetica per attivare solo una parte della resina 6 ottenendo un semilavorato, ed una seconda fase di tipo
15 termico per completare la polimerizzazione. La seconda fase di reticolazione può essere attuata a seguito della deposizione del materiale 2.

In funzione dei tempi di reticolazione della resina e della necessità di ottenere un semilavorato, viene definita la tipologia di polimerizzazione
20 (termica e/o luminosa e/o chimica) e la sequenza di attivazione parziale delle fasi di reticolazione.

Vantaggiosamente, nel caso di resine foto-attivabili e/o termo-attivabili, per evitare la reticolazione della resina 6 prima che questa venga effettivamente estrusa, viene utilizzato un ugello 14 in grado di schermare
25 la resina stessa dall'apparato di polimerizzazione (ad esempio un ugello in metallo, ma anche in materiale polimerico schermante, in ceramica ecc.).

La cinetica di reticolazione della resina 6 influisce sulla velocità di stampa (generalmente nell'ordine di secondi) e quindi i tempi di realizzazione dell'oggetto 10 sono direttamente dipendenti dalla velocità di reticolazione
30 della resina 6.

La posizione, la distanza, l'intensità e la lunghezza d'onda della radiazione

luminosa, nel caso di resine foto-attivabili, così come l'intensità della radiazione termica nel caso di resine termo-attivabili, sono pertanto parametri fondamentali per la realizzazione ottimale di un manufatto. Vantaggiosamente, nel caso di resine foto-attivabili per ottimizzare il processo di reticolazione, la lunghezza d'onda della luce emessa dalla sorgente viene fatta coincidere con il picco di assorbimento dell'iniziatore della resina foto-reticolabile.

In accordo con la soluzione realizzativa di figura 1, la testa di alimentazione 8 presenta inoltre un foro di ingresso 8a del materiale composto 2, disposto da parte opposta rispetto all'ugello 14; detta linea di avanzamento 11 alimentando il materiale 2 all'interno di detto foro 8a.

La testa di alimentazione 8 può comprendere inoltre un organo di troncatura 16 del materiale composto 2 configurato per interrompere l'alimentazione del materiale 2 in uscita dall'ugello 14.

Preferibilmente, come viene meglio illustrato nell'ingrandimento di figura 1a, l'organo di troncatura 16 è costituito da una coppia di lame 17 mobili in avvicinamento/allontanamento reciproco per tagliare il materiale composto 2 a termine della fase di alimentazione e per ottenere singoli spezzoni di materiale 2.

Anche in questo caso, il sistema di movimentazione delle lame 17 non viene descritto nel dettaglio in quanto di tipo noto.

La testa di alimentazione 8 è vantaggiosamente supportata da rispettivi mezzi di movimentazione 18 relativa tra la testa di alimentazione 8 stessa e l'oggetto tridimensionale 10.

I mezzi di movimentazione 18, durante l'alimentazione del materiale composto 2, esercitano una trazione del materiale composto 2 e quindi anche della fibra continua 3.

In altre parole, la movimentazione relativa tra la testa 8 e l'oggetto 10 determina un'azione di trazione del materiale 2 durante la rispettiva estrusione. Di conseguenza, tale trazione si trasferisce anche alla fibra 3 che viene svolta dal rispettivo rocchetto 5 (montato in maniera girevole, o

adeguatamente motorizzato, per svolgere la fibra). Si noti che tale trazione determina l'alimentazione della fibra stessa lungo la linea di avanzamento 11, attraverso il bacino 9 ed all'interno della testa 8. Di conseguenza, maggiore è la velocità relativa e maggiore sarà l'avanzamento della fibra lungo la linea (quindi minore permanenza della fibra 3 all'interno della resina 6).

In maggiore dettaglio, i mezzi di movimentazione 18 comprendono almeno una macchina 19 con movimentazione a controllo numerico su almeno tre assi.

10 In accordo con la prima soluzione realizzativa di figura 1, la macchina a controllo numerico 19 comprende un braccio motorizzato 20 per supportare in corrispondenza di una rispettiva porzione terminale 21 la citata testa di alimentazione 8.

15 Il braccio motorizzato 20, che non viene descritto ed illustrato nel dettaglio in quanto di tipo noto, è atto a movimentare la testa nei tre assi spaziali orientando la testa 8 stessa secondo qualsivoglia posizione rispetto all'oggetto 10 e rispetto ad un piano di appoggio 22 sul quale viene posizionato l'oggetto 10 in fase di stampa.

20 Nella soluzione esemplificativa di figura 2, la macchina a controllo numerico 19 presenta un telaio 23 all'interno del quale si sviluppa il citato piano di appoggio 22.

25 Il telaio 23 presenta opportune guide di scorrimento di un carrello 24 per la movimentazione del carrello 24 stesso lungo una prima direzione. Il carrello 24 a sua volta supporta in maniera mobile un attuatore 25 per avanzare l'attuatore 25 stesso lungo un secondo asse perpendicolare al primo.

30 L'attuatore 25 sostiene la tramoggia 13 e quindi la rispettiva testa di alimentazione 8 ed è a sua volta dotato di un sistema di movimentazione della tramoggia 13 e della testa 8 lungo un terzo asse perpendicolare al primo e secondo.

In questo modo, la testa 8 risulta essere orientabile secondo i tre assi

spaziali per la realizzazione dell'oggetto 10.

Si noti che il piano di appoggio 22, disposto al di sotto della testa di alimentazione 8, può essere a sua volta mobile in avvicinamento/allontanamento dalla testa di alimentazione 8. In questo caso, l'attuatore 25 può sostenere in maniera fissa la tramoggia 13 in quanto la movimentazione lungo il terzo asse viene determinata dallo spostamento del piano di appoggio 22 rispetto alla testa 8.

La presente invenzione riguarda inoltre un metodo per la stampa tridimensionale di materiali composti a fibra continua che comprende le fasi: realizzare un materiale composto 2 annegando la fibra continua 3 nella resina 6; ed alimentare il materiale composto 2 a fibra continua precedentemente formato.

Tale fase di alimentazione viene attuata esercitando una trazione del materiale composto mediante la movimentazione relativa tra la testa di alimentazione 8 e l'oggetto tridimensionale 10.

In altre parole, movimentando la testa 8 mediante l'azione della macchina a controllo numerico 19, il materiale 2 che viene man mano depositato a formare l'oggetto 10 viene tirato con la conseguente alimentazione del materiale 2 e della fibra 3.

Vantaggiosamente, la trazione del materiale 2 implica anche l'alimentazione della fibra 3 che viene opportunamente direzionata per passare nel bacino 9 di contenimento della resina 6.

In maggiore dettaglio, per attuare la fase di stampa, il materiale composto 2 in uscita dalla testa 8 viene inizialmente distribuito sul rispettivo piano di appoggio 22. A questo punto, il materiale 2 viene polimerizzato dall'organo 15 sul piano di appoggio 22 per definire un punto di ancoraggio 26 del materiale composto 2.

In altre parole, all'inizio del processo di deposizione del materiale composto 2, una parte del materiale 2 risulta essere già sporgente al di fuori dall'ugello 14. Quando l'apparecchiatura 1 inizia la fase di stampa, l'organo 15 polimerizza la resina 6 permettendo l'adesione della fibra 3 al

piano di appoggio 22. Viene quindi formato il punto di ancoraggio 26 che permette al materiale 2 già depositato e polimerizzato di tirare, nella movimentazione della macchina a controllo numerico 19, la fibra 3 a monte della testa 8.

- 5 Il materiale 2 che viene man mano alimentato dalla testa 8, viene polimerizzato e fatto aderire agli altri strati già depositi (in virtù delle caratteristiche adesive della resina 6), consentendo pertanto la continua azione di trazione della fibra 3.

La testa di alimentazione 8 viene quindi movimentata dalla macchina 19
10 secondo un predefinito percorso che definisce l'oggetto 10 da stampare. Tale percorso è determinato da opportuno software di gestione non descritto nella presente descrizione in quanto non rientra nell'ambito dell'invenzione.

Al termine della fase di stampa, o comunque quando deve essere
15 interrotta l'alimentazione continua del materiale 2, il materiale viene troncato dalle lame 17 come sopra descritto (per poi continuare ad essere depositato in un altro punto del piatto di stampa).

Vantaggiosamente, il metodo sopra descritto consente di realizzare
manufatti senza dover necessariamente effettuare il tradizionale "slicing"
20 lineare, vale a dire la divisione in strati dell'oggetto da stampare in maniera parallela al piano di stampa. Nella presente invenzione, non essendo vincolati a dovere utilizzare lo slicing convenzionale per la costruzione dell'oggetto 10, può essere seguita qualunque forma nello spazio tridimensionale. Le fibre 3 impregnate che vengono estruse si prestano
25 particolarmente a questa implementazione in quanto, quando la testa 8 traccia una linea nello spazio alimentando il materiale 2, la reticolazione simultanea della resina 6 tenacizza la fibra 3 che è in grado di sopportare le deformazioni delle fasi successive del processo.

Inoltre, implementando software ottimizzati per lo "slicing" non lineare è
30 possibile progettare e realizzare oggetti 10 orientando le fibre 3 lungo la direzione di sollecitazione massima. In questa situazione,

l'apparecchiatura può essere vantaggiosamente dotata di ulteriori assi di rotazione o anche di bracci robotici per aumentare la sua capacità di produrre forme tridimensionali.

Per quanto riguarda la struttura del materiale 2, il metodo può prevedere
5 anche una fase di pre-impregnazione delle fibre quando queste sono ancora sotto forma di filamenti sottili e successivamente assemblare i filamenti a formare la fibra 3, o strutture più complesse come corde, trecce, ecc...

Tale soluzione prevede l'utilizzo di un sistema di rulli di rinvio e bacini
10 dove i filamenti sottili vengono fatti passare prima di essere convogliati verso la testa di alimentazione 8. Le fibre 3 possono anche essere pretrattate per migliorare l'adesione chimica con la resina 6.

Ancora, la fase di realizzare il materiale composto 2 può comprendere l'ulteriore sottofase di additivare cariche particellari e/o fibrose al materiale
15 composto 2 stesso successivamente al passaggio della fibra 3 all'interno del bacino 9. In questo modo, la formazione del materiale composto 2 risulta essere molto versatile in quanto ottenibile con qualsiasi tipologia di sostanza in funzione delle varie necessità di realizzazione. Ad esempio, grazie all'uso di cariche fibrose è possibile migliorare l'accoppiamento tra
20 gli strati nella fase di deposizione del materiale 2.

Inoltre, in una ulteriore soluzione realizzativa alternativa, la resina viene reticolata parzialmente prima del deposito dell'intero materiale 2.

In tal modo si ottiene una fibra 3 che può essere maneggiata più facilmente rispetto ad un filamento impregnato solo di resina liquida, ed
25 allo stesso tempo sufficientemente flessibile da essere estrusa e depositata senza problemi.

Tale soluzione risulta essere particolarmente vantaggiosa nel caso in cui vengano processate fibre 3 di materiale che ostacola maggiormente la reticolazione di resine 6 liquide fotoreticolabili, quali ad esempio carbonio,
30 kevlar, etc...

La presente invenzione risolve i problemi riscontrati nella tecnica nota e

consegue importanti vantaggi.

Va innanzitutto rilevato che l'apparecchiatura 1 ed il relativo metodo di stampa tridimensionale consente di realizzare il materiale composito a fibra continua in maniera corretta. In altre parole, la presente invenzione consente di impregnare correttamente ed in maniera omogenea la fibra 3 con la rispettiva resina 6 liquida.

Tale vantaggio è dato proprio dalla fase di realizzazione del materiale in cui la fibra 3 viene annegata all'interno del bacino 9 di contenimento della resina 6. Il tempo di stazionamento della fibra 3 all'interno del bacino 9, viene definito e misurato in funzione delle caratteristiche dei materiali utilizzati, in modo tale da assicurare sempre la corretta formazione del materiale indipendentemente dalla struttura della fibra 3 e/o dalla viscosità della resina 6.

Un ulteriore vantaggio della presente invenzione è determinato dalla fase di alimentazione del materiale composito 2, che assicura la corretta erogazione e deposizione del materiale 2 a costituire l'oggetto 10.

Come sopra descritto, l'alimentazione del materiale 2 è determinato dal movimento relativo tra la testa 8 e l'oggetto 10 che implica una azione di trazione della fibra 3. Di conseguenza, il materiale 2 è alimentato dalla testa 8 solo a seguito del movimento della testa 8 stessa e la sua alimentazione non dipende dalla struttura (viscosità) della resina.

Di conseguenza, l'apparecchiatura 1 ed il relativo metodo di stampa risultano essere versatili ed utilizzabili per qualsiasi tipologia di materiale composito a fibra continua.

25

IL MANDATARIO
D.ssa Cristina BIGGI
(Albo iscr. n. 1239 B)

RIVENDICAZIONI

1. Apparecchiatura per la stampa tridimensionale di materiali compositi a fibra continua, caratterizzata dal fatto che comprendente:
una testa di alimentazione (8) di un materiale composto (2) a fibra (3)
5 continua per realizzare la stampa di un oggetto (10) tridimensionale;
mezzi di movimentazione (18) relativa tra la testa di alimentazione (8) e
l'oggetto tridimensionale (10) per esercitare una trazione del materiale
composto (2) a fibra (3) continua; ed
una stazione (7) di realizzazione del materiale composto (2) disposto a
10 monte della testa di alimentazione (8).
2. Apparecchiatura secondo la rivendicazione precedente, caratterizzata dal fatto che detta stazione (7) di realizzazione del materiale composto (2) comprende almeno un bacino (9) di contenimento di una
15 resina (5) per annegare almeno una fibra (3) continua durante la sua trazione nella resina (6) contenuta in detto bacino (9).
3. Apparecchiatura secondo la rivendicazione precedente, caratterizzata dal fatto che detta stazione (7) di realizzazione del materiale
20 composto (2) comprende una linea (11) di avanzamento della fibra (3) continua per guidare la fibra (3) stessa da un elemento di raccolta (4) della fibra (3), attraverso il bacino (9), e verso detta testa di alimentazione (8); detta linea (11) di avanzamento presentando una pluralità di rulli di rinvio
(12) della fibra (3).
25
4. Apparecchiatura secondo la rivendicazione 2, caratterizzata dal fatto che detto bacino (9) di contenimento della resina (6) comprende una tramoggia (13) presentante una prima estremità (13a) aperta di ingresso della fibra (3) continua, ed una seconda estremità (13b) aperta opposta
30 alla prima estremità (13a), di uscita del materiale composto (2); detta seconda estremità (13b) aperta definendo la testa di alimentazione (8) del

materiale composto (2) a fibra (3) continua.

5. Apparecchiatura secondo la rivendicazione precedente, caratterizzata dal fatto che detta stazione (7) di realizzazione del materiale
5 composto (2) comprende inoltre una linea (11) di avanzamento della fibra (3) continua per guidare la fibra (3) stessa da un elemento di raccolta (4) della fibra (3), verso detta prima estremità (13a) aperta della tramoggia (13).
- 10 6. Apparecchiatura secondo la rivendicazione 3 e/o 5, caratterizzata dal fatto che detto elemento di raccolta (4) della fibra (3) comprende un rocchetto (5) attorno al quale è avvolta la fibra (3); detto rocchetto (5) essendo girevole per svolgere la fibra (3) durante la rispettiva trazione determinata dai mezzi di movimentazione relativa (18) tra la testa di
15 alimentazione (8) e l'oggetto tridimensionale (10).
7. Apparecchiatura secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, caratterizzata dal fatto che detti mezzi di movimentazione relativa (18) tra la testa di alimentazione (8) e l'oggetto tridimensionale
20 (10) comprendono almeno una macchina (19) con movimentazione a controllo numerico su almeno tre assi.
8. Apparecchiatura secondo la rivendicazione precedente, caratterizzata dal fatto che detta macchina (19) a controllo numerico
25 comprende un braccio motorizzato (20) per supportare in corrispondenza di una rispettiva porzione terminale (21) detta testa di alimentazione (8).
9. Apparecchiatura secondo la rivendicazione 7, caratterizzata dal fatto che detta macchina (19) a controllo numerico comprende un piano di
30 appoggio (22) dell'oggetto tridimensionale (10) che viene stampato, disposto al di sotto di detta testa di alimentazione (8); detto piano di

appoggio (22) essendo mobile in avvicinamento/allontanamento dalla testa di alimentazione (8).

5 10. Apparecchiatura secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, caratterizzata dal fatto che detta testa di alimentazione (8) comprende: un ugello (14) di uscita del materiale composto (2) a fibra (3) continua, ed un organo di polimerizzazione (15) disposto in corrispondenza dell'ugello (14) per polimerizzare il materiale composto (2) in uscita da detto ugello (14).

10

11. Apparecchiatura secondo la rivendicazione precedente, caratterizzata dal fatto che detta testa di alimentazione (8) comprende inoltre un organo di troncatura (16) del materiale composto (2) a fibra (3) continua per interrompere l'alimentazione di detto materiale (2) in uscita
15 dall'ugello (14).

12. Metodo per la stampa tridimensionale di materiali compositi a fibra continua, caratterizzato dal fatto che comprendente le fasi:
realizzare un materiale composto (2) annegando una fibra (3) continua in
20 una resina (6); e successivamente
alimentare il materiale composto (2) a fibra (3) continua per realizzare la stampa di un oggetto tridimensionale (10);
detta alimentazione comprendendo la sottofase di esercitare una trazione
del materiale composto (2) mediante movimentazione relativa tra una
25 rispettiva testa di alimentazione (8) del materiale stesso e il piano di stampa (22) o detto oggetto tridimensionale (10).

13. Metodo secondo la rivendicazione precedente, caratterizzato dal fatto che detta fase di realizzare il materiale composto (2) viene attuata
30 durante la trazione della fibra (3) facendo passare la fibra (3) stessa nella resina (6) contenuta in un bacino (9) di contenimento.

14. Metodo secondo la rivendicazione precedente, caratterizzato dal fatto che detta fase di realizzare il materiale composto (2) comprende la sottofase di guidare la fibra (3) da un elemento di raccolta (4) della fibra (3) stessa, attraverso il bacino (9), e verso la testa di alimentazione (8).

15. Metodo secondo la rivendicazione precedente, caratterizzato dal fatto che detta fase di realizzare il materiale composto (2) comprende la sottofase di additivare cariche particellari e/o fibrose al materiale composto (2) stesso successivamente al passaggio della fibra (3) all'interno del bacino (9).

16. Metodo secondo la rivendicazione 14, caratterizzato dal fatto che detta sottofase di guidare la fibra (3) continua viene attuata svolgendo la fibra (3) da un rocchetto (5) attorno al quale è avvolta mediante trazione della fibra (3) stessa determinata dai mezzi di movimentazione (18); detto rocchetto (5) costituendo l'elemento di raccolta (4) della fibra (3) continua.

17. Metodo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni da 12 a 16, caratterizzato dal fatto che detta sottofase di esercitare la trazione del materiale composto (2) comprende le fasi di:

- distribuire il materiale composto (2) in uscita dalla testa (8) su un rispettivo piano di appoggio (22);
- polimerizzare il materiale composto (2) sul piano di appoggio (22) per definire un punto di ancoraggio (26) del materiale composto (2) a fibra (3) continua su detto piano (22);
- movimentare la testa (8) rispetto al punto di ancoraggio (26) secondo un predefinito percorso definente l'oggetto (10) da stampare; e contemporaneamente
- polimerizzare il materiale composto (2) durante la fase di movimentazione della testa (8) per stabilizzare il materiale (2) in uno stato

solido.

18. Metodo secondo la rivendicazione precedente, caratterizzato dal fatto che sottofase di esercitare la trazione del materiale composto (2) 5 comprende inoltre la fase di movimentare il piano di appoggio (22) dell'oggetto (10) tridimensionale in avvicinamento/allontanamento dalla testa di alimentazione (8).

19. Metodo secondo la rivendicazione 17, caratterizzato dal fatto che 10 detta movimentazione della testa (8) viene attuata da una macchina (19) con movimentazione a controllo numerico su almeno tre assi.

20. Metodo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni da 12 a 19, caratterizzato dal fatto che comprende la fase finale di troncatura del materiale 15 composto (2) a fibra continua in uscita dalla testa (8) per interrompere l'alimentazione di detto materiale (2).

IL MANDATARIO

D.ssa Cristina BIGGI
(Albo iscr. n. 1239 B)

Fig.1

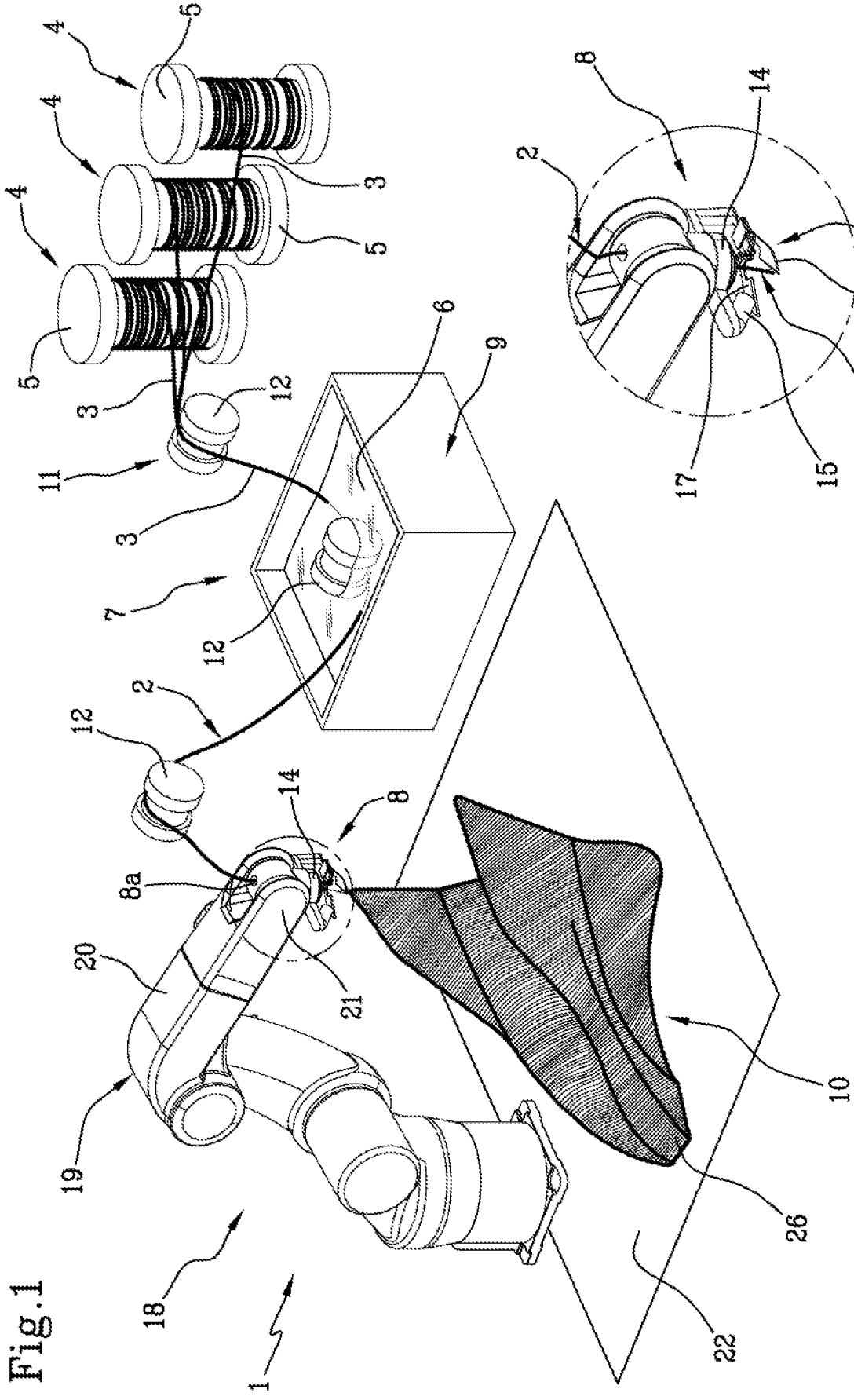


Fig.1a

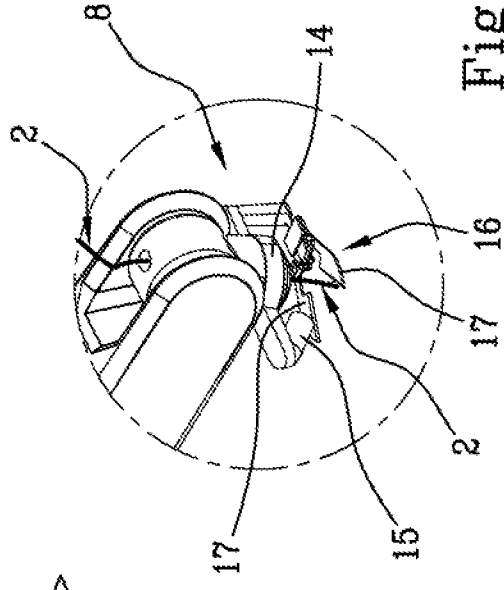


Fig. 2

